



TUGAS AKHIR - TM 141585

**ANALISA KEGAGALAN PIPA UDARA A312 TIPE
304H PADA *LINE* A-1011-14" (25P2J) UNIT
AMONIA PT. PETROKIMIA GRESIK**

SOPAN PRAYOGA
NRP 2114 105 028

Dosen Pembimbing
Ir. Witantyo, M.Eng, Sc

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TM 141585

**FAILURE ANALYSIS AIR PIPING A312 TYPE
304H IN LINE A-1011-14" (25P2J) AMMONIA
UNIT PT. PETROKIMIA GRESIK**

SOPAN PRAYOGA
NRP 2114 105 028

Academic Advisor
Ir. Witantyo, M.Eng, Sc

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Industrial Technology Faculty
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2016

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA KEGAGALAN PIPA UDARA A312 TIPE 304H PADA *LINE A-1011-14"* (25P2J) UNIT AMONIA PT.PETROKIMIA GRESIK

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin
Pada
Bidang Studi Manufaktur
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

Sopan Prayoga

NRP : 2114 105 028

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Witantyo, M.Eng, Sc.
(NIP. 19630314 198803 1 002)..... (Pembimbing)
2. Dr. Eng. Sutikno, ST, MT.
(NIP. 19740703 200003 1 001)..... (Penguji 1)
3. Indra Sidharta, ST, M.Sc.
(NIP. 19800619 200604 1 004)..... (Penguji 2)
4. Ari Kurniawan Saputra, ST, MT.
(NIP. 19860401 201504 1 001)..... (Penguji 3)

**SURABAYA
JULI 2016**

**ANALISA KEGAGALAN PIPA UDARA A312 TIPE 304H
PADA LINE A-1011-14" (25P2J) UNIT AMONIA
PT.PETROKIMIA GRESIK**

| | |
|-------------------------|--------------------------------|
| Nama Mahasiswa | : Sopan Prayoga |
| Nrp | : 2114105028 |
| Jurusan | : Teknik Mesin |
| Dosen Pembimbing | : Ir.Witanyo, M.Eng, Sc |

ABSTRAK

Line A-1011-14" (25P2J) menggunakan pipa tahan karat TP304H berdiameter 14 inch. Pipa mengalami pecah saat beroperasi pada temperatur 800°C (*overheating*) dan *crack* ditemukan pada hampir semua sambungan las. Masalah ini telah diteliti departemen Inspeksi PT.Petrokimia Gresik. Hasil analisa pihak petrokimia yaitu kegagalan terjadi karena *pre-existing crack* pada lasan longitudinal sebesar 80% tebal pipa, dan *overheating* hanya mempercepat terjadinya kegagalan. Akan tetapi pihak PT.Petrokimia membutuhkan analisa lainnya untuk menemukan akar penyebab kegagalan. Pipa udara merupakan jenis *stainless steel* dan beroperasi pada temperatur 610°C, dimana pada temperatur tersebut *stainless steel* akan mengalami sensitasi.

Kegagalan pipa dievaluasi dengan metode RCFA (*root cause failure analysis*) didukung pengujian Metalografi, SEM-EDX, dan OES. Metode ini digunakan untuk mengetahui akar penyebab kegagalan pipa udara TP304H pada *line A-1011-14" (25P2J)*.

Hasil analisa didapat adanya *pre-existing crack* mengakibatkan tegangan pipa 12978.55 psi masih belum melampaui *tensile strength* material TP304H pada temperatur 800°C yaitu 18000 psi. Hasil pengujian SEM dan metalografi menyatakan bahwa, kegagalan yang terjadi pada las *longitudinal* diakibatkan adanya IGSCC (*intergranular stress corrosion cracking*) yang mengakibatkan batas butir menjadi lemah dan

mengalami *sliding*, dan terjadi penurunan kekuatan pada material. Adanya sensitisasi dibuktikan dengan pengujian EDX yang menunjukkan kenaikan persentase unsur krom dan karbon pada batas butir HAZ yaitu 1.4% dan 21.64%. Untuk menghindari kegagalan yang sama, maka material TP304H *welded pipe* perlu diganti TP304H *seamless pipe*. *Crack* yang terjadi pada las *circumferential* diakibatkan adanya IP (*incomplete penetration*) yang menyebabkan tumbuhnya *crack* yang menjalar dari ujung IP menuju *fusion zone*, untuk mencegah hal tersebut maka setiap proses pengelasan yang dilakukan harus disesuaikan dengan prosedur.

Kata kunci : 304H, failure analysis, high temperature, precipitates.

**FAILURE ANALYSIS AIR PIPING A312 TYPE 304H IN
LINE A-1011-14 "(25P2J) AMMONIA UNIT
PT.PETROKIMIA GRESIK**

| | |
|-------------------------|---------------------------------|
| Name Of Student | : Sopan Prayoga |
| Nrp | : 2114105028 |
| Department | : Mechanical Engineering |
| Academic Advisor | : Ir.Witanty, M.Eng, Sc |

ABSTRACT

Line A-1011-14 "(25P2J) using a stainless steel pipe TP304H with a diameter of 14 inch. Pipe rupture during operation at temperatures of 800°C (overheating) and a crack was found in almost all of the weld joint. This issue has been studied by Inspection Departement of PT.Petrokimia Gresik. The results of analysis of PT. Petrokimia Gresik, are a failure occurred because of pre-existing crack in longitudinal weld pipe thickness by 80%, and overheating is only accelerate the occurrence of failure, but PT. Petrokimia Gresik need more analysis to find the root cause of the failure. Air pipe is a type of stainless steel and operate at a temperature of 610°C, at that temperature stainless steel will occur sensitization.

A pipe failure was evaluated with RCFA (root cause failure analysis) method which is supported with Metallographic testing, SEM-EDX and OES. This method use to understand root cause of failure of air pipe TP304H in line A-1011-14 "(25P2J).

The result of analysis shows existence of pre-existing crack resulting pipe stress is 12978.55 psi which not exceeds yield strength of TP304H material at temperature of 800°C ,are 18000 psi. A test results of SEM and metallographic states that, failure that occurred in longitudinal weld due to their IGSCC (intergranular stress corrosion cracking) which results in grain boundaries become weak and sliding occurs, and occured strength reduction to material. The existence of sensitization is evidenced

with EDX tests indicating a high chrome and carbon elements at grain-boundary ,are 1.4% and 21.64%. To avoid same of failure, so TP304H welded pipe material needs to replaced with TP304H seamless pipe. Crack that occurs in circumferential weld caused by the incomplete penetration that causes growth of crack that extends from the end of IP to the fusion zone, to prevent that then any welding process is carried out should be adjusted procedure.

Keywords : 304H, failure analysis, high temperature, precipitates.

DAFTAR ISI

| | |
|---|------------|
| HALAMAN JUDUL | |
| LEMBAR PENGESAHAN | |
| ABSTRAK..... | i |
| ABSTRACT | iii |
| KATA PENGANTAR | v |
| DAFTAR ISI | vi |
| DAFTAR GAMBAR | ix |
| DAFTAR TABEL | xi |
| | |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Perumusan Masalah | 4 |
| 1.3. Tujuan Penelitian | 5 |
| 1.4. Batasan Masalah | 5 |
| 1.5. Manfaat Penelitian | 5 |
| 1.6. Sistematika Penulisan | 5 |
| | |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 7 |
| 2.1. Unit Amonia PT.Petrokimia Gresik | 7 |
| 2.1.1. Proses Produksi Amonia (NH ₃) | 8 |
| 2.1.2. Pipa Udara yang Mengalami Kegagalan..... | 12 |
| 2.1.3. Analisa Kegagalan Pipa Udara <i>Line A 1011- 14”</i> (25P2J) oleh pihak Inspeksi PT.Petrokimia Gresik..... | 13 |
| 2.2. Penelitian yang Relevan | 14 |
| 2.3. Dasar Teori | 16 |
| 2.3.1. Definisi Kegagalan (<i>Failure</i>)..... | 16 |
| 2.3.2. Metode RCA/RCFA (<i>Root Cause Failur</i> <i>Analisis</i>) | 18 |
| 2.3.3. Jenis Material Pipa Tahan Karat | 19 |
| 2.3.4. Penyebab Kegagalan yang Sering Terjadi pada Pipa <i>Stainless Steel</i> | 21 |
| 2.3.4.1. Proses Korosi..... | 21 |

| | |
|--|-----------|
| 2.3.4.2. Patahan pada Temperatur Tinggi (<i>High Temperatur Fracture</i>)..... | 27 |
| 2.3.4.3. Pengaruh Kondisi Operasi Terhadap Perilaku Material | 28 |
| 2.3.5. Pengujian Material..... | 29 |
| 2.3.5.1. <i>Metalography</i> | 29 |
| 2.3.5.2. <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)..... | 30 |
| 2.3.5.3. <i>Optical Emission Spectrometry</i> (OES)..... | 32 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN..... | 33 |
| 3.1. Diagram Alir Penelitian | 33 |
| 3.2. Langkah-langkah RCFA (<i>root cause failure analysis</i>)..... | 38 |
| 3.3. Alat dan Bahan | 40 |
| 3.4. Waktu dan Tempat Penelitian | 41 |
| BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN..... | 43 |
| 4.1. Definisi Permasalahan..... | 43 |
| 4.2. Pengumpulan Data | 45 |
| 4.2.1. Bentuk Kegagalan..... | 46 |
| 4.2.2. Lokasi Kegagalan | 47 |
| 4.2.3. Data <i>Record</i> Tekanan dan Temperatur saat Terjadi Kegagalan..... | 48 |
| 4.3. Identifikasi Penyebab yang Mungkin..... | 50 |
| 4.3.1. FTA (<i>Fault Tree Analysis</i>) Diagram Kegagalan Meledaknya Pipa | 50 |
| 4.3.2. FTA (<i>Fault Tree Analysis</i>) Diagram Kegagalan <i>Crack</i> pada Sambungan <i>Circumferential</i> | 53 |
| 4.4. Identifikasi Akar Permasalahan..... | 54 |
| 4.4.1. Perhitungan Tegangan pada Pipa..... | 54 |
| 4.4.2. Hasil Pengamatan Fraktografi menggunakan SEM (<i>Scanning Emission Microscope</i>)..... | 58 |
| 4.4.3. Hasil Pengamatan Struktur Mikro Material A312 Tipe 304H..... | 63 |

| | |
|---|-----------|
| 4.4.4. Pengamatan EDX (<i>Energy Dispersive X-Ray Analysis</i>) | 76 |
| 4.5. Solusi dan Rekomendasi | 77 |
| BAB V PENUTUP | 81 |
| 5.1. Kesimpulan | 81 |
| 5.2. Saran | 82 |
| DAFTAR PUSTAKA | 83 |
| LAMPIRAN | 85 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1. Unsur yang dapat Dianalisa dengan OES..... | 32 |
| Tabel 4.1. Data <i>History</i> Kerusakan <i>Line A 1011-14"</i> (25P2J).. | 44 |
| Tabel 4.2. Data Teknis Pipa Udara..... | 45 |
| Tabel 4.3. <i>Mechanical Properties</i> | 46 |
| Tabel 4.4. <i>Component Element Properties</i> | 46 |
| Tabel 4.5. Hasil Pengukuran Ketebalan Pipa | 54 |
| Tabel 4.6. Pengamatan Fraktografi dengan SEM (<i>Scanning Electron Microscope</i>)..... | 59 |
| Tabel 4.7. Hasil Pengamatan Struktur Mikro Material yang Mengalami Pecah pada Posisi 1 | 65 |
| Tabel 4.8. Hasil Pengamatan Struktur Mikro Material yang Mengalami Pecah pada Posisi 2 | 68 |
| Tabel 4.9. Hasil Pengamatan Struktur Mikro Bagian Las <i>Longitudinal</i> yang Belum Mengalami Pecah | 70 |
| Tabel 4.10. Hasil Pengamatan Struktur Mikro pada <i>Base Metal</i> yang Mengalami <i>Toe Crack</i> | 71 |
| Tabel 4.11. Hasil Pengamatan Struktur Mikro Bagian Las <i>Circumferential</i> yang Belum Mengalami Pecah | 74 |
| Tabel 4.11. Perbandingan Pengujian OES dan EDX | 76 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 1.1. Proses Sintesa pada <i>Primary</i> dan <i>Secondary Reformer</i> | 2 |
| Gambar 1.2. Kegagalan pada Pipa Udara Unit Amonia..... | 3 |
| Gambar 2.1. Diagram Blok Pembuatan Amonia..... | 8 |
| Gambar 2.2. <i>Line A1011-14"</i> (25P2J) yang Mengalami Kegagalan..... | 13 |
| Gambar 2.3. Struktur Kristal <i>Austenitic Stainless Steel (Face-Centered)</i> | 19 |
| Gambar 2.4. Kandungan Ni dan Cr <i>Austenitic Stainless Steel</i> | 20 |
| Gambar 2.5. <i>Phase Diagram</i> Fe-Cr-Ni | 21 |
| Gambar 2.6. <i>Intergranular corrosion</i> pada <i>stainless steel</i> | 22 |
| Gambar 2.7. Pengaruh C pada Terhadap $M_{23}C_6$ | 23 |
| Gambar 2.8. <i>The Structure of Sensitized Zone</i> dari <i>Austenitic Stainless Steel</i> | 24 |
| Gambar 2.9. Mekanisme EIC | 25 |
| Gambar 2.10. <i>Stainless Steel that Underwent Chloride-Induced</i> | 26 |
| Gambar 2.11. Kurva <i>Creep</i> | 29 |
| Gambar 2.12. Hasil Uji SEM dengan Perbesaran 5000x | 31 |
| Gambar 2.13. Hasil EDS | 31 |
| Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian..... | 34 |
| Gambar 3.2. Pengambilan <i>Sample</i> di PT.Petrokimia Gresik..... | 36 |
| Gambar 3.3. <i>Microscope Optic</i> | 37 |
| Gambar 3.4. Alat Uji SEM (EVO MA10)..... | 38 |
| Gambar 3.5. <i>Flowchart</i> RCFA | 39 |
| Gambar 4.1. Pipa yang Mengalami Kegagalan | 45 |
| Gambar 4.2. Bentuk Kegagalan pada <i>Line A 1011-14"</i> (25P2J) | 47 |
| Gambar 4.3. Lokasi Terjadinya Kegagalan | 47 |
| Gambar 4.4. Posisi Pengukuran Tekanan dan Temperatur | 48 |
| Gambar 4.5. Grafik <i>Record</i> Tekanan | 49 |
| Gambar 4.6. Grafik <i>Record</i> Temperatur..... | 49 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.7. FTA Kegagalan karena Faktor Material | 51 |
| Gambar 4.8. FTA <i>Crack Circumferential</i> | 53 |
| Gambar 4.9. Posisi Pengukuran Ketebalan Pipa | 54 |
| Gambar 4.10. Penunjukan Lokasi Spesimen (a) dan (b) yang Mengalami Pecah (c) pada Daerah yang Belum Mengalami Pecah..... | 64 |
| Gambar 4.9. Terjadinya Presipitasi Karbida Krom | 64 |
| Gambar 4.10. Hasil SEM-EDX Material Pipa A312 Tipe 304H..... | 76 |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

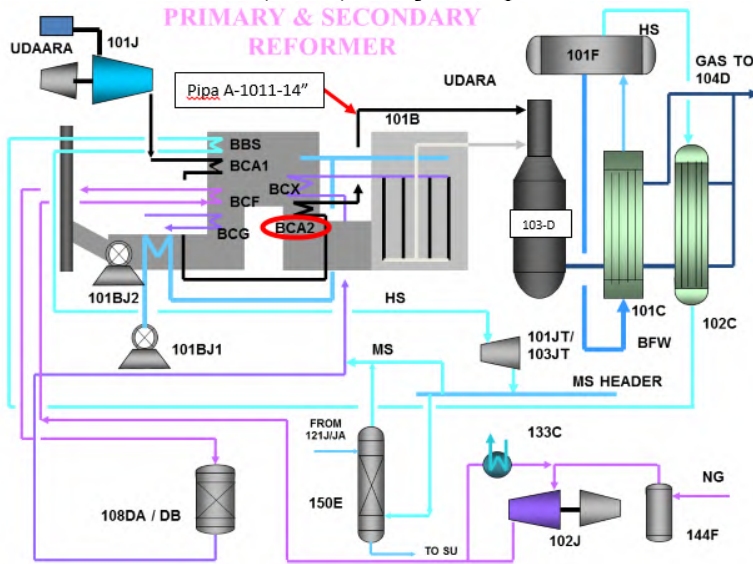
PT. Petrokimia Gresik merupakan perusahaan pupuk terbesar di Indonesia. Petrokimia dibagi menjadi 3 pabrik utama yaitu: Pabrik 1, Pabrik 2 dan Pabrik 3. Pabrik 1 memproduksi Pupuk *Nitrogen*, Pabrik 2 memproduksi Pupuk *Phospat*, dan Pabrik 3 memproduksi Asam *Fosfat*. Amonia (NH_3) merupakan bahan baku pupuk nitrogen. Produksi amonia di PT. Petrokimia Gresik mencapai 445.000 ton per tahun.

Dalam proses pembuatan amonia, Gas *Hidrogen* diperoleh dari metana (BBG) dan uap air (H_2O) yang di proses di *primary reformer* 107-D. *Primary reformer* 107-D merupakan alat yang dilengkapi dengan *tube* katalis, *tube* katalis ini dipanaskan dengan nozel yang digunakan untuk mereaksikan H_2O dengan NH_4 sehingga diperoleh *Hidrogen* (H_2). Gas *Hidrogen* yang diperoleh kemudian dialirkan ke dalam *secondary reformer* 103-D. *Secondary reformer* 103-D merupakan bejana tekan yang dilapisi batu tahan api, fungsi dari *secondary reformer* 103-D yaitu untuk mereaksikan gas *nitrogen* dan gas *Hidrogen* untuk dihasilkan amonia. Gas *Nitrogen* didapatkan dari udara yang dihisap oleh kompressor kemudian dipanaskan melalui *air preheater* 101-BCA 1 dan *air heater* 101-BCA 2 pada *primary reformer* 107-D. Setelah melewati *air preheater* 101-BCA 1 dan *air heater* 101-BCA 2, udara dialirkan ke dalam *secondary reformer* 103-D untuk menghasilkan reaksi fusi antara *nitrogen* dari udara dengan *Hidrogen* untuk disintesa menjadi amonia (NH_3).

Untuk mengalirkan udara yang dari kompresor sampai *secondary reformer* 103-D dibutuhkan pipa-pipa penghubung yaitu A 1001-12", A 1012-12" dan A 1011-14". Sebelum masuk ke *secondary reformer* 103-D udara dialirkan melalui *line* A 1001-12" menuju proses *air preheater* 101-BCA 1, kemudian dialirkan melalui A 1012-12" menuju proses *air heater* 101-BCA 2 pada *primary reformer*. Hal ini bertujuan agar *temperatur* gas memenuhi

kebutuhan untuk proses fusi amoniak pada *secondary reformer* 103-D. Udara yang sudah dipanaskan pada proses *preheater* dan *heater* kemudian dialirkan menuju *secondary reformer* 103-D melalui *line A* 1011-14" (25P2J).

Penghubung antara *outlet air heater* 101-BCA 2 dengan *secondary reformer* 103-D adalah *Pipe Line A* 1011-14" (25P2J) yang merupakan saluran pipa tahan karat type 304H berdiameter 14 inch dan beroperasi pada temperatur 610°C dengan tekanan 39.7 kg/cm². Proses sintesa pada *primary* dan *secondary reformer* serta posisi *line A* 1011-14" (25P2J) ditunjukkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Proses Sintesa pada *Primary* dan *Secondary Reformer*

Mulai tahun 2004 sudah beberapa kali terjadi kegagalan pada *line A* 1011-14" (25P2J). Kegagalan yang terjadi adalah retak (*crack*) pada sambungan lasan pipa. Perbaikan sementara yang dilakukan adalah melakukan *re-inforce* tambalan pelat dan penggantian beberapa pipa yang mengalami kegagalan. Kasus lain

yaitu kegagalan (*failure*) line A1011-14”(25P2J) pada tanggal 14 Januari 2015 pipa mengalami pecah atau meledak. Posisi pipa yang mengalami pecah berada dekat *outlet air heater* 101-BCA 2. Terjadinya beberapa kegagalan pada line A1011-14”(25P2J) tersebut dinilai sangat mengganggu proses produksi di unit amonia, karena harus dilakukan beberapa kali *shutdown* untuk dilakukan proses perbaikan, sehingga *production rate* amonia PT. Petrokimia Gresik akan turun. Kegagalan yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2 Kegagalan pada Pipa Udara Unit Amonia

Hasil analisa dari pihak inspeksi PT. Petrokimia Gresik menyebutkan bahwa, kegagalan terjadi akibat adanya *overheating* temperatur mencapai 800°C dan adanya *pre-existing crack* pada daerah las *longitudinal* lebih dari 80% tebal pipa, sehingga dengan adanya tekanan udara dalam pipa dapat mengakibatkan terjadinya pecah (*rupture*). *Overheating* hanya akan mempercepat terjadinya pecah pada pipa.

Berdasarkan pada teori tentang metalurgi, bahwa baja tahan karat jenis *austenitic* pada temperatur 425°C sampai 815°C , kromium karbida akan mengalami *precipitates* pada batas butir^[5], dengan adanya *presipitates* tersebut daerah sekitar batas butir akan

mudah terserang korosi. Adanya tekanan pada lingkungan akan menyebabkan *microcrack* yang akan menjalar di sekitar batas butir atau sering disebut *intergranular stress corrosion cracking*.

Analisa pihak inspeksi PT. Petrokimia Gresik tentang penyebab kegagalan pipa udara A312 Type 304H pada *line* A1011-14”(25P2J) belum mencapai akar permasalahan sebenarnya, karena belum diketahui apa penyebab terjadinya *pre-existing crack*. Atas dasar hal tersebut maka akan dilakukan penelitian tentang analisa kegagalan pipa udara A312 Type 304H pada *line* A1011-14”(25P2J) menggunakan metode RCFA (*Root Cause Failur Analysis*) agar dapat diketahui akar permasalahan sebenarnya.

Dengan metode RCFA dapat mengidentifikasi suatu permasalahan dengan mencari penyebab utama terjadinya kegagalan maupun faktor-faktor yang memungkinkan baik langsung maupun tidak langsung berkontribusi terhadap masalah tersebut [1]. Komparasi antara pengujian material dan identifikasi beban operasi yang bekerja serta identifikasi proses *maintenance* yang sudah dilakukan pada *line* A1011-14”(25P2J) adalah skema dasar dari penelitian ini yang digunakan sebagai langkah antisipasi untuk meminimalisir kegagalan dengan kasus yang sama pada komponen ini dikemudian hari.

1.2. Perumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah diuraikan, maka kegagalan pipa A312 Type 304H *Line* A 1011-14”(25P2J) Unit Amonia PT. Petrokimia Gresik perlu dikaji sebagai berikut :

1. Apa faktor penyebab kegagalan pipa A312 Type 304H pada *line* A 1011-14”(25P2J) ?
2. Apa langkah-langkah yang perlu dilakukan serta rekomendasi yang sesuai agar kasus kegagalan pipa A312 Type 304H pada *line* A 1011-14”(25P2J) yang serupa dapat diminimalisir ?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui faktor penyebab kegagalan pipa A312 *Type* 304H pada *line* A 1011-14”(25P2J).
2. Menentukan langkah-langkah yang perlu dilakukan serta rekomendasi yang sesuai agar kasus kegagalan pipa A312 *Type* 304H pada *line* A 1011-14”(25P2J) yang serupa dapat diminimalisir.

1.4. Batasan Masalah

Permasalahan dibatasi pada evaluasi *line* A 1011-14”(25P2J) pada unit amonia Pabrik 1 PT. Petrokimia Gresik

1.5. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan mampu memberi manfaat kepada seluruh pihak.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan laporan Tugas Akhir.

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yaitu jenis kegagalan yang terjadi pada pipa A312 tipe 304H, pengujian yang dilakukan serta jenis metode yang akan diterapkan sehingga dapat diperoleh pengertian dan pengetahuan yang menunjang analisa permasalahan dalam penelitian ini.

3. BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi rencana penelitian, prosedur penelitian, prosedur pelaksanaan, bahan yang digunakan, dan *flow chart* penelitian.

4. BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi data-data, hasil pengujian yang diperoleh selama penelitian dan pembahasan mengenai data dan permasalahan yang terjadi pada penelitian.

5. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari penelitian ini, serta saran yang mungkin dapat berguna pada penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

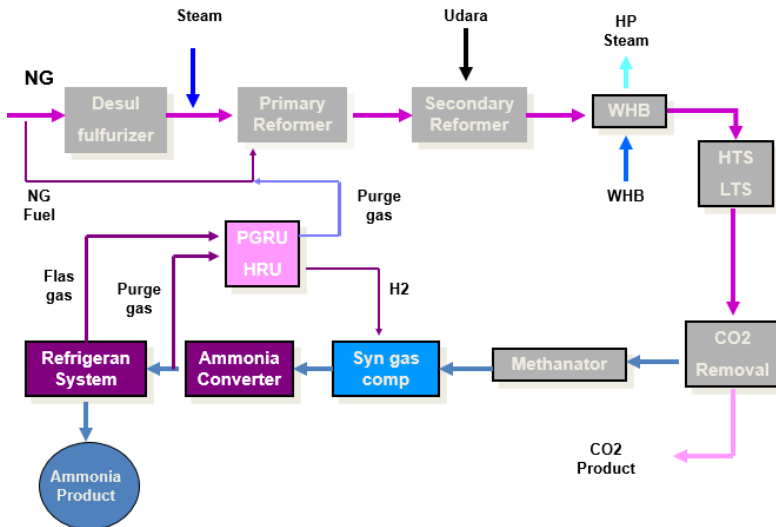
Bab ini akan dibagi menjadi 3 sub bab pembahasan yaitu: (i) tinjauan pustaka tentang penjelasan unit amonia PT Petrokimia Gresik, (ii) tinjauan pustaka tentang penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian yang akan dilakukan, dan (iii) dasar teori yang dapat mendukung pada penelitian ini. Sub bab pertama akan menjelaskan bagaimana alur pembuatan amonia di unit amonia PT.Petrokimia Gresik. Alur pembuatan amonia perlu diketahui karena kegagalan terjadi pada komponen yang menunjang produksi amonia. Selain itu, sub bab ini akan menjelaskan tentang komponen yang mengalami kegagalan di unit amonia serta analisa yang sudah dilakukan oleh pihak inspeksi PT.Petrokimia Gresik. Sub bab kedua berisi tentang penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Penelitian-penelitian yang telah dilakukan dapat dijadikan acuan dalam menyelesaikan penelitian yang akan dilakukan. Sub bab ketiga berisi tentang dasar teori yang berkaitan dengan penelitian ini seperti, definisi kegagalan, jenis metode yang digunakan, kegagalan yang sering terjadi pada pipa tahan karat, dan penjelasan tentang pengujian yang akan dilakukan.

2.1. Unit Amonia PT.Petrokimia Gresik

Pabrik Amoniak PT. Petrokimia Gresik didesain untuk menghasilkan amoniak cair dengan kapasitas desain 1.350 ton per hari atau sekitar 445.000 ton per tahunnya. Gas alam yang digunakan sebagai bahan baku pada proses pembuatan amoniak ini berasal dari Pertamina, Petrochina, dan Kodeco. Proses pembuatan amoniak dengan bahan baku gas bumi (*natural gas*) melibatkan tahapan-tahapan proses yang berbeda dibandingkan dengan proses pembuatan amoniak dengan bahan baku *Low Sulfur Fuel Oil* (LSFO). Proses dengan bahan baku melibatkan gas bumi melibatkan “*Steam Methane Reforming*”sedangkan proses dengan bahan baku LSFO melibatkan “*Non Catalytic Partial Oxydation*” di dalam pembuatan gas sintesisnya.

2.1.1. Proses Produksi Amonia (NH_3)

Proses pembuatan amonia pada unit amonia pabrik 1 PT. Petrokimia Gresik dihasilkan dari reaksi antara NG (Natural Gas) dan steam yang dimasukkan pada sistem sehingga menghasilkan H_2 , sedangkan N_2 diperoleh dari udara luar yang dimasukkan ke sistem. Secara umum proses pembuatan amonia dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Diagram Blok Pembuatan Amonia

Penjelasan dari diagram blok pada Gambar 2.1 proses pembuatan amonia PT. Petrokimia Gresik adalah sebagai berikut:

➤ Desulfurisasi

Tahap pertama untuk mendapatkan amonia adalah proses memasukan gas umpan atau natural gas (NG) yang terdapat pada proses desulfurisasi untuk mengurangi kadar sulfur di dalamnya. Gas bumi umpan mengandung (H_2S) yang terdapat senyawa S

yang bersifat racun bagi katalis sehingga perlu dikurangi sampai 0.1 ppm.

Ada dua macam sulfur dalam gas bumi yaitu:

- Senyawa sulfur reaktif yang dapat ditangkap dengan mudah oleh katalis ZnO
- Senyawa Sulfur non reaktif yang tidak dapat ditangkap oleh ZnO.

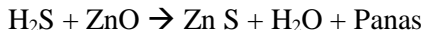
Katalisator yang dipakai pada proses desulfurisasi ada 2 macam yaitu *Cobalt-Molybdate* (Co-Mo) dan ZnO, dimana senyawa sulfur non reaktif diperlukan katalis *Cobalt Molybdate* (Co-Mo). Dengan menambah gas H₂ dari *Syn Loop*, maka semua senyawa S organik baik reaktif maupun non reaktif akan dihidrogenasi pada katalis Co-Mo menjadi H₂S.

Reaksi yang terjadi :

- Pada Katalis Co-Mo



- Pada Katalis ZnO



Reaksi berlangsung pada temperatur 399°C dengan tekanan 44.3 kg/cm², sehingga gas bumi keluar dari kompresor 103°C perlu dipanaskan terlebih dahulu di *primary reformer* sampai 399°C.

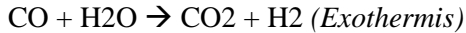
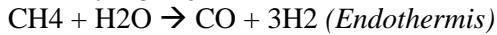
➤ ***Steam Reforming (Primary Reformer)***

Kadar sulfur yang terkandung pada gas umpan sudah dikurangi sampai 0.1 ppm, selanjutnya yaitu proses pemanasan pada *primary reformer* dengan mencampurkan NG dan *steam*. *Primary reformer* merupakan alat yang dilengkapi dengan tube katalis dimana tube katalis dipanaskan dengan nozel yang digunakan untuk mereaksikan H₂O dengan CH₄ sehingga diperoleh Hidrogen (H₂).

Gas umpan yang keluar dari desulfurisasi, kemudian dicampur dengan MPS dengan perbandingan 3.2 mol MPS untuk setiap mol senyawa C organik. Campuran tersebut dipanaskan

lebih lanjut sampai 621°C dengan tekanan 40.6 kg/cm. *Steam reforming* di *primary reformer* menghasilkan gas dengan kadar $\text{CH}_4 \pm 10\%$ vol (basis kering).

Reaksi yang terjadi :



Reaksi tersebut terjadi pada pipa-pipa berisi katalis Ni. Panas di *primary reformer* di *supply* oleh bahan bakar (gas bumi) sehingga gas keluar dari *primary reformer* mempunyai temperatur 827°C.

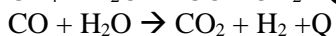
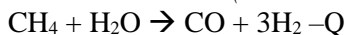
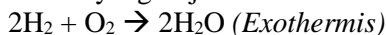
Yang menghasilkan Gas Out :

N_2 : 0.58%, H_2 : 65.76%, CH_4 : 12.17%, Ar: 0%, CO_2 : 11.26%, dan CO: 10.23%.

➤ ***Autothermal Reforming (Secondary Reformer)***

Secondary reformer merupakan bejana tekan yang dilapisi batu tahan api. Gas keluar dari *primary reformer* dicampur dengan udara dan masuk pada *secondary reformer*. Oksigen dalam udara tersebut akan membakar gas dalam ruang khusus mencapai temperatur 1290°C dan tekanan 37.2 kg/cm². Karena reaksinya *endothermis* maka gas yang keluar dari *secondary reformer* mencapai $\pm 1005^\circ\text{C}$. Pada *secondary reformer* ini menghasilkan dengan kadar $\text{CH}_4 + 0.3\%$.

Reaksi yang terjadi :



Gas yang keluar dari *secondary reformer* langsung masuk WHP untuk menghasilkan HPS, kemudian HPS dipanaskan lagi dengan gas tersebut sampai tempertur 371°C.

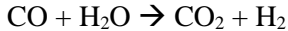
Komposisi Gas Out :

N_2 : 23.31%, H_2 : 64.31%, CH_4 : 0.33%, Ar: 0.30%, CO_2 : 7.93%, CO: 13.83%.

➤ ***Shift Conversion (HTS & LTS)***

Fungsi dari *shift conversion* ini mengubah semua CO hasil *reforming* menjadi CO_2 dan H_2 .

Reaksi yang terjadi :



Reaksi yang terjadi pada:

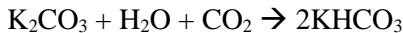
- HTS: untuk mereaksikan sebagian besar CO pada suhu tinggi 425°C dengan menggunakan katalis Fe_2O_3 .
- LTS: untuk mereaksikan sisa CO sehingga menghasilkan kadar CO yang rendah yang bisa diterima di proses Methanasi yaitu temperatur 225°C dengan katalis tembaga.

Gas CH_4 dan Ar tidak bisa dihilangkan (merupakan *inert*) hanya dapat dihindari akumulasinya dengan melakukan *purging* gas di *syn loop*. H_2O dihilangkan dengan cara kondensasi kemudian dipisahkan sebagai proses *condensate*. Gas CO_2 dipisahkan dengan cara absorpsi oleh larutan hot *process carbonat* (proses *benfield*) sedangkan sisa CO_2 dan CO diubah menjadi CH_4 di metanor.

➤ **CO_2 Removal**

Penghilangan gas CO_2 dilakukan dengan cara absorpsi gas CO_2 oleh media K_2CO_3 pada tekanan 32 kg/cm^2 dan temperatur 73°C.

Reaksi Absorpsi:

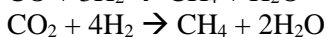
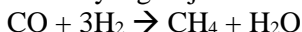


Dengan reaksi absorpsi tersebut maka gas sintesa mengandung CO_2 tinggal 600 pps.

➤ **Metanasi**

Proses metanasi merupakan proses mengkonversi CO dan CO_2 menjadi senyawa CH_4 yang bersifat *inert* terhadap katalis *loop*, karena setelah proses *CO_2 removal* masih mengandung sejumlah kecil CO dan CO_2 . Gas tersebut apabila masuk ke *syn loop* akan mengoksidasi katalis.

Reaksi yang terjadi:



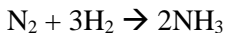
Reaksi tersebut sangat eksotermis oleh sebab itu kenaikan CO dan CO_2 sedikit saja dapat menaikkan suhu dengan cepat.

Katalis yang dipakai adalah Ni dan reaksi dilakukan pada temperatur 313°C dan tekanan 30 kg/cm².

Proses sintesa amonia merupakan reaksi kesetimbangan, pada proses ini berfungsi untuk menghilangkan H₂O karena bersifat racun terhadap katalis. Untuk menghilangkan H₂O, sebelum masuk ke *syn loop* gas sintesa didinginkan sampai dengan 37°C sambil mengembunkkan uap air. Selama pendinginan sebagian besar H₂O mengembun dan sisanya dilewatkan di *Molecular Sieve Dryer* yang berfungsi sekaligus untuk menyerap sisa CO₂ yang masih ada.

Reaksi pada proses sintesa amonia berlangsung pada temperatur 500-550°C dengan tekanan 179 kg/cm² menghasilkan kadar NH₃ yang keluar dari *converter* sebesar 17.2% dan sisa gas yang tidak bereaksi akan di *recycle*. Gas keluar *converter* pada temperatur 459°C setelah mengalami pendinginan dengan *Deemit Water Oxgen*.

Reaksi pembentukan NH₃ dari N₂ dan H₂ mengikuti persamaan reaksi :

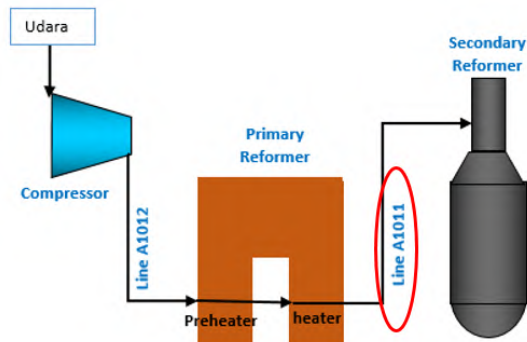


➤ Tahap *Purge Gas Recovery*

Purge Gas Recovery berfungsi untuk mengurangi *inert gas* (CH₄, He, Ar) di *syn loop*, sejumlah kecil *syn gas* dikeluarkan dari *system*. Pada proses ini akan *merecover* kandungan NH₃ oleh *Purge Gas Recovery Unit* (PGRU) dan H₂ oleh *Hidrogen Recovery Unit* (HRU) kemudian *inert gas* akan dipakai sebagai *fuel gas* pada *primary reformer*.

2.1.2. Pipa Udara yang Mengalami Kegagalan

Pipe Line A1011-14''(25P2J) yang merupakan saluran pipa tahan karat A312 type 304H, *schedule* 60, berdiameter 14 inch dan beroperasi pada temperatur 610°C dengan tekanan 39.7 kg/cm². Pipa ini berfungsi mengalirkan udara dari *air heater* ke *secondary reformer*. Posisi *line A1011-14''(25P2J)* ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Line A 1011-14'' (25P2J) yang Mengalami Kegagalan

2.1.3. Analisa Kegagalan Pipa Udara Line A 1011-14'' (25P2J) oleh Pihak Inspeksi PT.Petrokimia Gresik

Analisa kegagalan pipa udara line A 1011-14'' (25P2J) A 312 tipe 304H sebelumnya sudah dilakukan oleh pihak inspeksi PT. Petrokimia Gresik. Analisa dilakukan dengan melakukan pemeriksaan komposisi kimia, pengukuran ketebalan, analisa fraktografi dan analisa *creep*. Dari hasil analisa, didapatkan penyebab terjadinya kegagalan pada pipa udara tipe 304H adalah karena adanya *overheating* dan adanya *pre-existing crack* pada lasan longitudinal sampai 80% ketebalan pipa. Kenaikan temperatur menyebabkan terjadinya penurunan nilai *yield strength*, sehingga dengan adanya tekanan operasi yang melebihi *yield strength* akan menyebabkan kegagalan. Adanya *pre-existing crack* akan meningkatkan tegangan yang terjadi pada pipa, sehingga tegangan melampaui *tensile strength* material pipa. Dari perhitungan dan grafik didapatkan *yield strength* dan *tensile strength* material pada temperatur 800°C adalah 10.000 psi dan 20.000 psi. Tekanan udara pada pipa adalah 5000 psi, dengan adanya *pre-existing crack* sampai 80% dari ketebalan pipa maka terjadi kenaikan tegangan yaitu lebih dari 20.000 psi. Dari hal tersebut *crack* yang cukup dalam menyebabkan pipa pecah pada temperatur 800°C. Permasalahan mengapa ada *pre-existing crack*

pada sambungan las belum dianalisa oleh pihak *inspector* dari Petrokimia.

Kekurangan dari analisa yang dilakukan pihak inspector PT.Petrokimia adalah tidak dilakukannya analisa penyebab terjadinya *pre-existing crack*. Perhitungan untuk menentukan tegangan yang terjadi, penentuan nilai *ultimate tensile strength* dan *yield strength* material pipa masih perlu untuk diteliti lagi. Selain itu opini lain dibutuhkan oleh pihak inspeksi PT.Petrokimia Gresik. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian kembali untuk mengkaji hal tersebut.

2.2. Penelitian yang Relevan

Beberapa penelitian terkait dengan penelitian ini antara lain:

Ilham Hatta, 2003 menganalisa kegagalan yang terjadi pada baja paduan tinggi jenis HP-Modified dengan komposisi 0.4% C, 25% Cr, 35% Ni 1.5% Nb dan 1.5% Si. Pipa dirancang bekerja pada tekanan 26,3 kg/cm², temperatur 974°C dan beroperasi pada temperatur 800 – 1000°C. Pipa mengalami kegagalan saat dioperasikan sekitar 5 tahun dan telah mengalami 11 kali *start-stop* atau *emergency stop*. Pengujian yang dilakukan untuk menemukan penyebab terjadinya kegagalan pada pipa hydrogen tersebut adalah *Electron Probe X-Ray Micro Analysis* (EPMA), *optical emission spectrometer* dan *Hardness Vicker's* (HV). *Electron Probe X-Ray Micro Analysis* (EPMA) dilakukan untuk melihat distribusi unsur yang terdapat pada daerah retakan, *optical emission spectrometer* dilakukan untuk memperkirakan komposisi kimia pada material, dan *Hardness Vicker's* (HV) untuk mengetahui kekerasan pada bagian melintang pipa, selain itu untuk mengetahui proses pendinginan pada pipa yang mengalami kegagalan. Hasil yang didapatkan dari pengujian-pengujian yang dilakukan adalah pipa *hydrogen* yang pecah disebabkan oleh *local over-heating* dan pengaruh pendinginan cepat, sehingga mengakibatkan *creep* yang mempercepat menjalarnya retak dan menimbulkan *intergranular high temperature corrosion*. Pemetaan EPMA pada material

ditemukan unsur yang korosif yaitu Cl (*chlor*) dan O₂ (Oksigen), kedua unsur ini mempercepat laju kerusakan pada suhu tinggi.

Penelitian yang dilakukan oleh Ilham Hatta cukup baik dalam hal penggunaan metode. Metode yang digunakan sangat variatif, sehingga didapatkan fenomena-fenomena penyebab terjadinya kegagalan. Penelitian tersebut juga tidak membahas terjadinya presipitasi karbida krom, tetapi disimpulkan dijelaskan penyebab utama adalah *intergranular corrosion*. Kekurangan dari penelitian tersebut adalah penarikan kesimpulan yang dirasa kurang pas sehingga perlu diteliti lagi.

S.Topolska, dkk. 2012 menganalisa kerusakan *steam generator coil* yang terbuat dari *austenitic stainless steel grade X6CrNiTi18-10*. Penelitian ini mengacu pada proses korosi yang menyerang sambungan las (*welded joint*). Spesifikasi pipa yang digunakan adalah *seamless cold formed pipe* diameter 23mmx2.3mm. Pipa tersebut digunakan selama 6 bulan jam kerja. *Steam generator* bekerja pada tekanan 12 bar dan temperatur *steam* 160°C, dan mengalami *overheating* sampai temperatur 600°C. Inspeksi dan pengamatan makro menunjukkan adanya *circumferential crack*, *small pits* dan korosi yang signifikan menyerang sambungan las. Beberapa *crack* terlihat pada sambungan las. *Crack* tersebut juga menyebar di *heat affected zone* (HAZ), dimana *crack* bermula dari sisi pipa bagian dalam. Pemeriksaan metalografi menunjukkan *crack* bermula dari HAZ yang menyebar ke arah *fusion line*. Analisa lebih detail menunjukkan, *crack* terjadi secara intergranular yang merambat disekitar batas butir, hal tersebut dikarenakan adanya presipitasi kromium karbida. Distribusi kromium karbida pada HAZ dapat juga diamati dengan *scanning electron microscope* (SEM), kemudian dilakukan analisa kualitatif dari distribusi menggunakan EDX. Hasil dari analisa EDX menunjukkan konsentrasi tinggi unsur Cl dan O. Cukup tingginya konsentrasi Cl dan O dari lingkungan, adanya *tensile stress* yang diterima dari proses

pengelasan dan tegangan saat beroperasi dapat menyebabkan *stress corrosion cracking*.

Prosedur penelitian yang dilakukan S.Topolska sangat baik. Penggunaan EDX untuk mengkonfirmasi distribusi kromium pada saat terjadi sensitasi merupakan langkah yang bagus. Kekurangan dari penelitian tersebut adalah perlu dilakukannya pengujian melakukan OES untuk mengetahui kadar karbon pada material yang mengalami kegagalan, karena semakin tinggi kadar karbon akan mempercepat terjadinya *intergranular corrosion*.

2.3. Dasar Teori

Dasar teori yang terkait dengan penelitian ini adalah:

2.3.1. Definisi Kegagalan (*Failure*)

Kegagalan dapat didefinisikan sebagai ketidakmampuan bahan atau komponen untuk menjalankan fungsinya secara baik. Ketika komponen belum mengalami kerusakan, namun komponen tersebut sudah tidak dapat berfungsi dengan baik, maka dapat dikatakan bahwa komponen tersebut telah mengalami kegagalan [2].

Analisa kegagalan dapat diartikan sebagai pemeriksaan atau pengujian terhadap komponen-komponen yang gagal (*failur*) beserta kondisi yang menyebabkan kegagalan, dengan tujuan untuk mengetahui penyebab dari kegagalan tersebut. Tujuan dari analisa kegagalan adalah untuk mengetahui mekanisme terjadinya kegagalan serta memberikan rekomendasi yang dapat dilaksanakan untuk menanggulangi kegagalan tersebut.

Kasus-kasus kegagalan pada suatu material dapat dibedakan menjadi beberapa kategori [3], antara lain :

- a. Kesalahan Operasi
- b. Perawatan yang tidak baik
- c. *Design Error*

➤ Analisa Kegagalan (*Failure Analysis*)

Analisis kegagalan adalah langkah-langkah pemeriksaan kegagalan atau kerusakan pada suatu komponen yang mencakup

situasi dan kondisi kegagalan sehingga dapat ditentukan penyebab dari kegagalan atau kerusakan yang terjadi pada komponen tersebut ^[6]. Analisis kegagalan mempunyai tujuan sebagai berikut:

1. Menemukan penyebab utama kegagalan material
2. Menghindari kegagalan/kerusakan yang sama dimasa yang akan datang dengan melakukan langkah-langkah penanggulangan
3. Sebagai bahan pengaduan teknis terhadap pembuat atau produsen komponen tersebut
4. Sebagai langkah awal untuk perbaikan kualitas komponen tersebut
5. Sebagai penentuan waktu kapan *maintenance* dilakukan

Kegiatan analisis kegagalan seringkali harus dilakukan oleh berbagai ahli dari disiplin ilmu yang bekerja sama sesuai dengan prosedur atau tahapan yang telah ditetapkan. Adapun tahapan atau langkah utama dalam melakukan analisis kegagalan adalah sebagai berikut :

1. Melakukan investigasi lapangan yang meliputi :
 - Melakukan observasi lapangan
 - Melakukan wawancara atau *interview* terhadap pihak terkait
 - Mendokumentasikan temuan lapangan (fotografi)
 - Menentukan jenis kerusakan
2. Melakukan uji aspek metalurgi di laboratorium
 - Uji sifat mekanik
 - Uji struktur mikro
3. Melakukan analisis dan identifikasi dengan metode RCFA, yang meliputi:
 - *Brainstorming* dan *Interview*
 - *Process analysis, mapping dan flowcharts*
 - *Why analisis*
4. Mempersiapkan saran untuk perbaikan

2.3.2. Metode RCA/RCFA (*Root Cause Failure Analysis*)

Analisis kegagalan atau investigasi kerusakan adalah langkah-langkah pemeriksaan kegagalan pada komponen yang mencakup kondisi komponen, situasi dan kondisi lingkungan operasional dari komponen, sehingga dapat diketahui penyebab dari kegagalan atau kerusakan yang terjadi pada komponen tersebut. Analisis kegagalan mempunyai tujuan sebagai berikut:

- a. Menentukan penyebab utama kegagalan komponen tersebut.
- b. Meminimalisir terjadinya kegagalan yang sama pada masa mendatang.
- c. Sebagai rujukan teknis mengenai permasalahan dengan kondisi yang sama atau proses yang sama. ^[6]

Perawatan dengan metode RCFA merupakan salah satu konsep atau metode yang dirancang untuk memberikan langkah yang efektif untuk menyelesaikan berbagai masalah yang baik langsung maupun tidak langsung berdampak pada plan. Proses ini tidak hanya terbatas pada kegagalan *equipment* dan sistem, tetapi dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah yang lebih besar. Dengan metode ini dapat mengidentifikasi suatu permasalahan dengan mencari penyebab utama terjadinya kegagalan maupun faktor-faktor yang memungkinkan baik langsung maupun tidak langsung berkontribusi terhadap masalah tersebut ^[1].

Investigasi kegagalan menggunakan metode *Root Cause Failure Analysis* (RCFA) guna memudahkan penyelesaian terhadap permasalahan yang dihadapi. Prosedural RCFA secara umum sebagai berikut ^[16] :

1. *Define the Problem*
2. *Gather Data*
3. *Identify Issues that contribute to the problem*
4. *Find the root causes*
5. *Development Recommended Solutions*

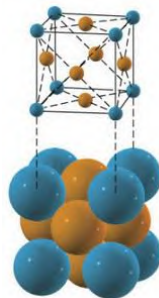
2.3.3. Jenis Material Pipa Tahan Karat

Baja tahan karat atau *stainless steel* merupakan baja paduan dengan kadar paduan tinggi, baja mempunyai kelebihan tahan terhadap korosi dan oksidasi pada temperatur tinggi. Komposisi utama paduannya adalah *chromium* (Cr) dan Nikel (Ni), Kadang ditambah dengan mangan (Mn), dan Molidenum (Mo) sebagai penyetabil.

Sifat korosi baja ini disebabkan karena adanya lapisan *chromium oksida* (Cr_2O_3) yang sangat stabil. Lapisan *chromium oksida* terbentuk karena potensial *chromium* lebih rendah dari pada besi, sehingga *chromium* dapat teroksidasi dengan mudah membentuk lapisan *chromium oksida*. Lapisan *chromium oksida* akan melekat kuat dan bersifat stabil, sehingga udara disekitar tidak mampu menembus. Hal ini mengakibatkan reaksi antara *chromium* dan oksigen tidak terjadi lagi, sehingga menghentikan reaksi antara logam dengan lingkungannya ^[10].

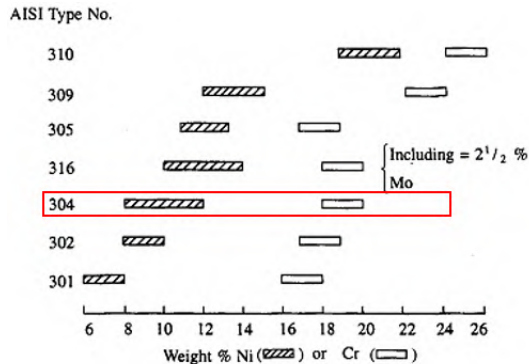
➤ *Austenitic Stainless Steel*

Pada umumnya *austenitic stainless steel* adalah paduan Fe-Cr-Ni, dan cukup dikenal dengan 300 series AISI yang memiliki sifat *non-magnetic* dan daya tahan terhadap korosi paling baik bila dibandingkan dengan *ferritic* dan *martensitic stainless steel*. Struktur kristal *austenitic stainless steel* ditunjukkan pada Gambar 2.3.



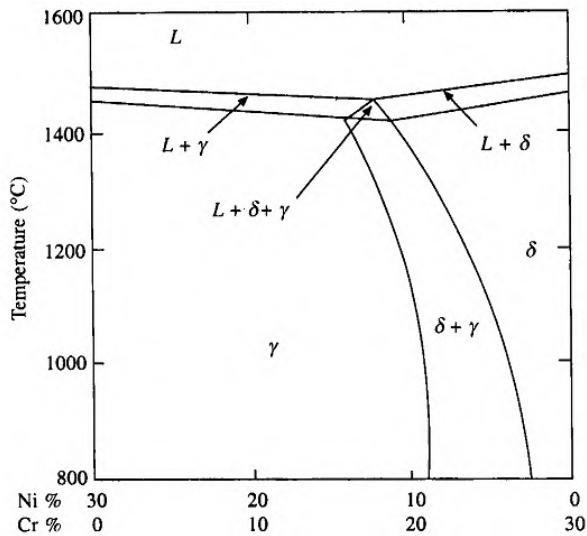
Gambar 2.3 Struktur Kristal *Austenitic Stainless Steel* (Face-Centered)^[11]

Paduan *austenitic stainless steel* merupakan kelompok terbesar baja tahan karat yang sering digunakan, hingga mencapai 65-70% dari total semua baja tahan karat. Baja paduan jenis ini lebih dominan bukan hanya karena ketahanan terhadap korosi yang sangat baik, tetapi juga karena memiliki kekuatan pada temperatur tinggi dan kemudahan saat proses fabrikasi termasuk mampu las yang baik. Baja tahan karat ini diatur dalam urutan konsentrasi Ni dan Cr dapat ditunjukkan pada Gambar 2.3 ^[11].



Gambar 2.4 Kandungan Ni dan Cr *Austenitic Stainless Steel* ^[11]

Austenitic stainless steel didapatkan dengan menambahkan elemen penyetabil *austenite* seperti Ni atau Mn pada paduan besi *chromium*. Jika mangan ditambahkan dalam jumlah yang cukup maka daerah *austenite* akan bertambah luas dan sebaliknya akan memperkecil pembentukan *ferrit*. Paduan *austenitic stainless steel* tidak mengalami transformasi selama perlakuan panas, juga tidak dapat dikeraskan dengan proses perlakuan panas. Transformasi phase *stainless steel* ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Phase Diagram Fe-Cr-Ni ^[11]

2.3.4. Penyebab Kegagalan yang Sering Terjadi pada Pipa *Stainless Steel*

Jenis kerusakan pada pipa *stainless steel* yang beroperasi pada temperatur tinggi, yaitu:

2.3.4.1. Proses Korosi

Proses korosi merupakan proses perusakan material karena bereaksi dengan lingkungan dan bukan karena faktor mekanik secara murni. Korosi dapat juga didefinisikan sebagai kebalikan dari proses ekstraksi logam ^[8].

Korosi dapat juga diartikan degradasi material (logam) akibat dari reaksi kimia atau elektrokimia material tersebut dengan lingkungannya. Suatu material yang terkorosi akan memiliki sifat dan kualitas yang lebih rendah dari material yang tidak mengalami korosi. Bila korosi terjadi secara terus-menerus pada suatu material, maka material akan berubah seluruhnya menjadi produk korosi. Dari pengertian tersebut didapat beberapa aspek penyebab korosi yaitu: material, reaksi dan lingkungan.

Material: pengertian material disini adalah semua jenis logam dan paduannya dimana didalam logam dan paduannya terdapat beda potensial

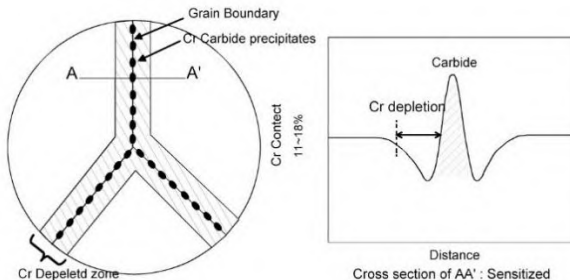
Lingkungan: merupakan tempat logam tersebut berada dalam penggunaannya (udara, air, tanah, bahan kimia dan gas) bisa berupa lingkungan kering tau basah.

Reaksi: interaksi antara material dengan lingkungannya ketika material tersebut berada dalam lingkungan korosif.

Pada korosi logam, reaksi yang paling banyak terjadi adalah reaksi elektrokimia dimana terdapat anoda, katoda dan elektrolit sebagai tiga komponen utama dalam reaksi elektrokimia. Antara anoda dan katoda kontak satu sama lain atau terhubung secara elektrokimia. Katoda mengalami reduksi dan anoda mengalami oksidasi. Logam yang mengalami oksidasi inilah yang akan terkorosi dan berubah menjadi senyawa lain dengan biangan oksidasi lebih besar ^[7].

➤ ***Intergranular Corrosion (IGC) atau Korosi Batas Butir.***

Korosi batas butir yaitu terjadinya presipitasi karbida ($M_{23}C_6$) pada batas butir, sehingga daerah sekitar batas butir mengalami *chromium depletion*. Apabila kandungan Cr dibawah 12% maka baja tidak tahan terhadap korosi karena terjadi kekosongan kromium pada batas butir yang dapat dilihat pada Gambar 2.6.



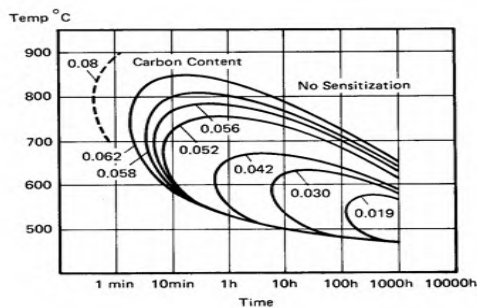
Gambar 2.6 Intergranular corrosion pada stainless steel ^[7]

Intergranular corrosion pada *austenitic stainless steel* terjadi pada temperatur menengah, temperatur antara 425°C sampai 815°C kromium karbida akan mengalami *precipitates* pada batas butir. Selain menyebabkan kerusakan pada material, *intergranular corrosion* juga mengakibatkan kerusakan pada lasan ^[5].

Sensitisasi dari *austenitic stainless steel* pada waktu proses pengelasan menyebabkan kerusakan pada lasan. Kerusakan pada lasan disebabkan oleh *intergranular corrosion* pada daerah HAZ (*heat affected zone*) ^[5].

Pembentukan Karbida Pada Baja Tahan Karat

Apabila baja tahan karat cukup banyak mengandung *chromium* dan dipanaskan pada temperatur sensitasi, maka akan terjadi proses presipitasi. Pada suhu cukup tinggi tersebut, memberikan energi yang cukup bagi atom *chromium* untuk berdifusi dengan bebas, maka terbentuklah presipitasi karbida. Korosi tidak menyerang karbida yang sudah terbentuk, melainkan menyerang daerah yang memiliki kadar krom lebih sedikit. Pada *stainless steel* memiliki kadar karbon 0.03%-0.08% C, kelebihan karbon yang ada akan keluar saat mengalami sensitasi yang mengakibatkan terbentuknya presipitasi karbida, karbon berdifusi menuju batas butir pada temperatur sensitasi dan menyerap krom untuk membentuk presipitasi ^[7]. Pengaruh kadar karbon terhadap presipitasi karbida dapat dilihat pada Gambar 2.7.

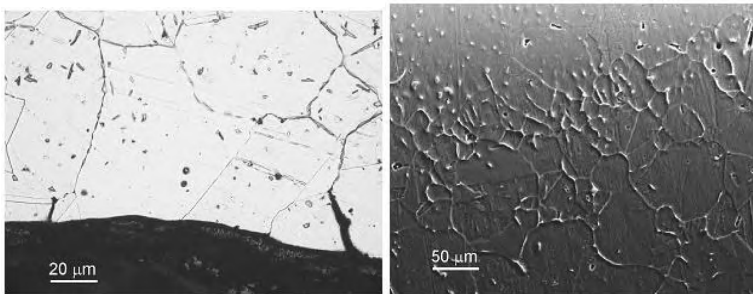


Gambar 2.7 Pengaruh C pada Terhadap $M_{23}C_6$ ^[7]

Terbentuknya presipitasi karbida ini merupakan penyebab terjadinya korosi batas butir (*intergranular corrosion*). Batas butir merupakan daerah yang mempunyai energi tinggi, karena atom-atom di daerah ini tidak terikat dalam suatu ikatan yang rapat. Adanya energi yang lebih besar pada batas butir memungkinkan terjadinya presipitasi karbida.

Jika karbida *chromium* yang terbentuk cukup banyak maka baja ini akan mudah terserang korosi batas butir. Korosi batas butir ini terjadi pada daerah sekitar batas butir, hal tersebut disebabkan terjadinya presipitasi karbida daerah ini akan mengalami kekurangan *chromium*. Adanya perbedaan kadar kromium antara daerah sekitar batas butir menyebabkan terbentuknya suatu *cell* dengan material yang berbeda. Sehingga proses pengkorosian dapat berlangsung.

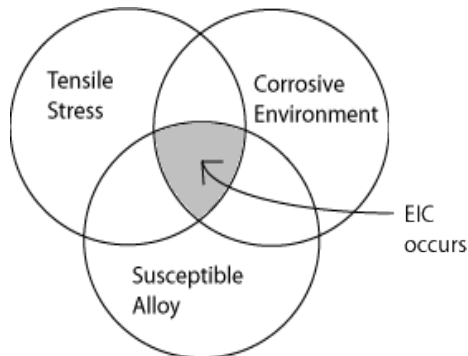
Kecepatan pendinginan sangat berpengaruh dalam proses terbentuknya presipitasi krom ini. Jika kecepatan pendinginan pada range temperatur 425-815°C sangat cepat, maka presipitasi karbida tidak akan terbentuk^[5]. Bentuk sensitasi *Austenitic stainless steel* dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 *The Structure of Sensitized Zone dari Austenitic Stainless Steel* ^[17]

➤ ***Environmentally Induced Cracking (EIC)***

Environmentally Induced Cracking (EIC) adalah kegagalan yang terjadi pada material karena terjadinya kerapuhan (*brittle*) disebabkan adanya gabungan dari tegangan dan lingkungan yang korosif. Berdasarkan mekanisme kegagalannya, EIC dibagi atas *stress corrosion cracking (SCC)*, dan *Corrosion Fatigue Cracking (CFC)* ^[5]. Elemen EIC dapat dilihat pada Gambar 2.9.



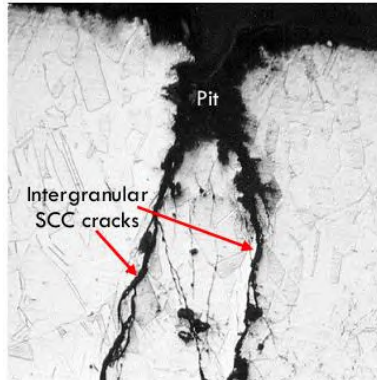
Gambar 2.9 Mekanisme EIC ^[7]

A. *Stress Corrosion Cracking*

Stress Corrosion Cracking (SCC) didefinisikan sebagai pertumbuhan retak pada material karena tegangan tarik dan berada di lingkungan yang korosif pada logam aktif atau paduan. Jadi selain adanya tegangan sisa sebagai penyebabnya, SCC juga dipengaruhi oleh lingkungan korosi seperti adanya *chloride ions*, air, oksigen dan Ph. SCC sulit untuk dideteksi sampai sampai korosi tersebut telah menjalar dan mengarah ke kegagalan seperti pecah pada pipa transmisi cairan atau gas dan ledakan pada boiler. Tegangan yang terjadi pada material biasanya disebabkan oleh perlakuan panas, pengelasan, *machining*, dan *cold working* ^[5].

Penyebab SCC juga telah diamati pada tabung yang terbuat dari baja tahan karat tipe 304 yang diberikan larutan $MgCl_2$ yang mendidih, terlihat kegagalan SCC terjadi pada daerah lasan

yang disebabkan oleh tekanan. SCC disekitar daerah las terjadi ketika struktur terkena tegangan sisa pada lingkungan yang korosif [5]. Bentuk SCC dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 *Stainless Steel that Underwent Chloride-Induced* [13]

Pencegahan dari *stress corrosion cracking* (SCC) secara umum dengan menghilangkan satu dari tiga faktor yang ditunjukkan pada Gambar 2.9 : *tensile stress*, *critical enviroment*, atau *suspeceptible alloy*.

B. Corrosion Fatigue Cracking (CFC)

Corrosion fatigue Cracking (CFC) adalah kegagalan pada material karena kerapuhan (*brittle*) yang disebabkan oleh tegangan yang terjadi secara berulang di lingkungan yang korosif. CFC serupa dengan SCC lantaran *corrosion* menyebabkan *brittle fracture*, akan tetapi pada lingkungan yang tidak korosif material akan bersifat *ductile* [5].

Kemampuan suatu material menerima beban *cyclic* tanpa menyebabkan terjadinya kegagalan disebut batas kelelahan atau *endurance limit*. Nilai *endurance limit* akan berkurang bila material tersebut berada pada lingkungan korosif. Hal ini menyebabkan penurunan umur siklus dan kemampuan material menerima beban. Kerusakan yang dialami oleh material yang

mengalami *fatigue corrosion* cenderung lebih besar dari pada kerusakan akibat mekanik murni. Dari perambatan retak yang dihasilkan cenderung transgranular.

Pencegahan dari *corrosion fatigue cracking (CFC)* dengan cara mengurangi laju korosi secara umum, perlindungan katodik mengurangi *oksidizer*, atau menambah pH. Dengan perubahan ke paduan yang lebih tahan korosi merupakan cara yang efektif, tapi hanya laju korosi cukup rendah ^[5].

2.3.4.2. Patahan pada Temperatur Tinggi (*High Temperature Fracture*)

Pada dasarnya *high temperatur fracture* ada tiga bentuk utama yaitu: *rupture* (pecah), retak dengan pola rambatan *transgranular*, retak dengan pola rambatan *intergranular*.

➤ Patahan dengan Pola Rambatan *Intergranular*

Pola perambatan *intergranular* terjadi karena adanya ketidak homogenan pada batas butir, pola rambatannya melalui batas butir. Pada temperatur tinggi biasanya disebut *intergranular creep fracture (ICF)*. Pola kerusakan ini disertai dengan adanya *void nucleation* pada batas butir. Material pada temperatur tinggi dapat mengalami deformasi pada butir kristal sehingga mengakibatkan terjadinya kerusakan meskipun tegangan yang diterima oleh material tetap.

Deformasi pada material yang berada pada temperatur tinggi dapat terjadi secara *creep* yaitu bertambahnya regangan dengan bertambahnya waktu. Perubahan bentuk disebabkan karena adanya perubahan temperatur yang tidak merata pada material sehingga terjadi perbesaran butir kristal, sedangkan pada material yang relatif dingin butir kristal belum mengalami perbesaran, sehingga pada batas butir tumbuh *voids* yang mendorong terjadinya kerusakan.

➤ Patahan dengan Pola Rambatan *Transgranular*

Tegangan dalam dan ketidak homogenan pada batas butir dengan pola perambatan melalui batas butir. Perambatan

transgranular material mengalami tegangan yang besar sehingga menyebabkan kerusakan, dimana bentuk kerusakannya terlihat kasar.

➤ Pecah (*Rupture*)

Kerusakan material yang mengakibatkan material mengalami pecah terjadi karena tegangan yang diterima pada pengerjaan temperatur tinggi. Tegangan yang diterima tersebut lebih besar dari pada *intergranular* dan *transgranular creep fracture*. Pertumbuhan retak mengakibatkan patah terjadi karena adanya pengintian pada rongga internal (*internal voids*).

2.3.4.3. Pengaruh Kondisi Operasi Terhadap Perilaku Material

• Allowable Stress

Proses desain komponen menggunakan acuan *allowable stress* pada temperatur tinggi yang biasanya dipakai dalam analisa pengaruh temperatur terhadap sifat-sifat material yang aktual. Dalam hal ini perlu diketahui pengaruh kondisi operasi berupa tekanan (*internal pressure*) terhadap komponen, dimana pada dinding material mengalami tekanan yang berbeda-beda yang menimbulkan tegangan –*hoop stress*. Perhitungan *hoop stress* (σ_{sh}) berdasarkan tekanan dapat dirumuskan sebagai berikut:

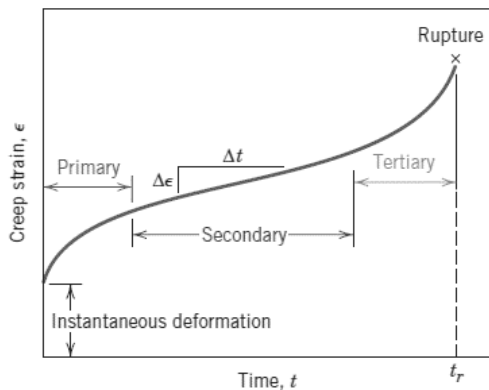
$$\sigma_{SH} = \frac{P(r_i^2 + \frac{r_o^2}{r_i^2})}{r_o^2 - r_i^2} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana: P adalah tekanan, r adalah radius pipa, dan t adalah tebal pipa.

• Material pada Temperatur Tinggi

Salah satu faktor penting dalam menentukan integritas komponen dalam suatu sistem pada aplikasi temperatur tinggi adalah perilaku *creep*. Pada proses termal, suatu material yang mengalami deformasi secara lambat dan kontinyu dalam fungsi waktu dengan beban atau tegangan konstan hingga patah maka dinamakan *creep*.

Pengaruh temperatur pada material didasarkan pada T_m , yaitu tempertur lebur absolut, dimana ketika diekspos pada rentan $0.4-0.7 T_m$ atau diatasnya proses *creep* akan terjadi. Sehingga material yang dioperasikan dalam jangka waktu yang lama dan mendekati temperatur leburnya cenderung mengalami *creep*. Akibat deformasi tersebut suatu material mengalami perubahan bentuk atau terjadi patah yang tidak diinginkan. *Creep* terjadi pada suatu *crack* yang telah ada, dan dengan adanya konsentrasi tegangan mempercepat perambatan retak yang berakhir pada kegagalan. Proses terjadinya kegagalan akibat *creep* dapat ditunjukkan pada kurva *creep* Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Kurva *Creep*^[2]

2.3.5. Pengujian Material

Pengujian material yang akan dilakukan pada spesimen pengujian metalografi, SEM dan OES.

2.3.5.1. Metalography

Pengujian *metalography* merupakan disiplin ilmu yang mempelajari karakteristik mikrostruktur dan makrostruktur suatu logam, paduan logam dan material lainnya serta hubungan dengan sifat-sifat material. Pada dasarnya uji *metalography* makrostruktur yang dilakukan untuk pengujian kualitas hasil pengelasan.

Pengujian metalografi menggunakan mikroskop optik untuk melakukan analisa mikro pada material.

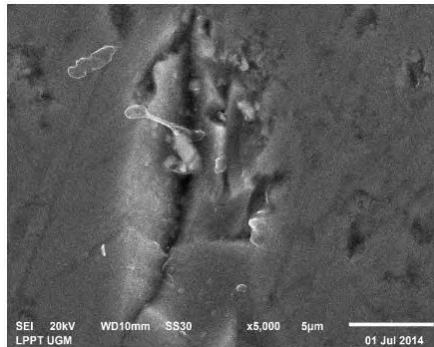
Analisa mikro adalah suatu analisa mengenai struktur logam melalui perbesaran menggunakan mikroskop khusus metalografi. Analisa struktur mikro dapat mengamati bentuk dan ukuran kristal logam, kerusakan logam akibat proses deformasi dan proses perlakuan panas. Pengamatan metalografi dengan mikroskop dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Metalografi makro, yaitu pengamatan struktur dengan perbesaran 10-100 kali.
2. Metalografi mikro, yaitu pengamatan struktur dengan perbesaran di atas 100 kali.

2.3.5.2. Scanning Electron Microscope (SEM)

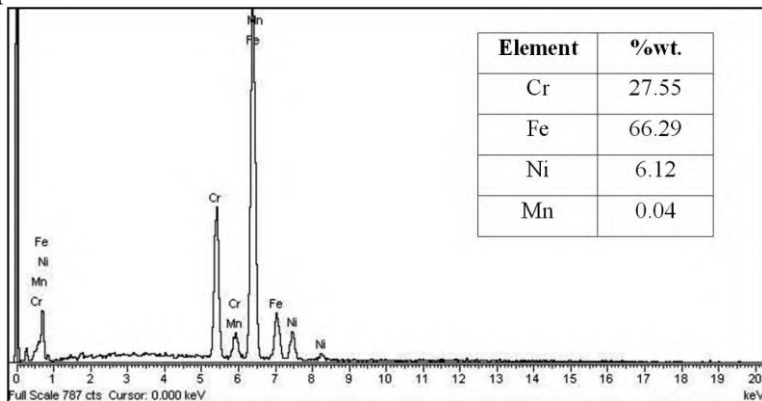
SEM merupakan salah satu tipe *microscope electron* yang mampu menghasilkan resolusi tinggi dari gambaran suatu permukaan sampel. Oleh karena itu gambar dihasilkan oleh SEM mempunyai karakteristik secara kualitatif dalam dua dimensi karena menggunakan electron sebagai pengganti gelombang cahaya serta berguna untuk menentukan struktur permukaan sampel. Material yang dikarakterisasi SEM yaitu berupa lapisan tipis yang memiliki ketebalan 20 mikro meter dari permukaan. Gambar topografi permukaan berupa tonjolan, lekukan dan ketebalan lapisan dari penampang melintangnya ^[2].

SEM atau mikroskop elektron ini memfokuskan sinar electron (*electron beam*) dipermukaan obyek dan mengambil gambar dengan mendeteksi elektron yang muncul pada permukaan obyek. Perbedaan tipe yang berbeda dari SEM memungkinkan penggunaan berbeda-beda antara lain untuk studi morfologi, analisa komposisi dengan kecepatan tinggi, kekerasan permukaan, porositas, distribusi ukuran partikel, homogenitas material atau untuk studi lingkungan tentang masalah sensitifitas material. Hasil pembacaan SEM dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Hasil Uji SEM dengan Perbesaran 5000x ^[14]

Dengan alat SEM dilengkapi dengan kemampuan ini, namun tidak semua SEM mempunyai fitur seperti ini. EDS dihasilkan dari sinar X karakteristik, yaitu dengan menambahkan sinar X pada posisi yang ingin kita ketahui komposisinya. Maka setelah ditembakkan pada posisi yang diinginkan maka akan muncul puncak-puncak tertentu yang mewakili suatu unsur yang terkandung. Dengan EDS kita juga bisa membuat *elemen mapping* (*element mapping*). EDS bisa digunakan untuk menganalisa secara kuantitatif dari presentase masing-masing elemen seperti terlihat pada Gambar 2.13.



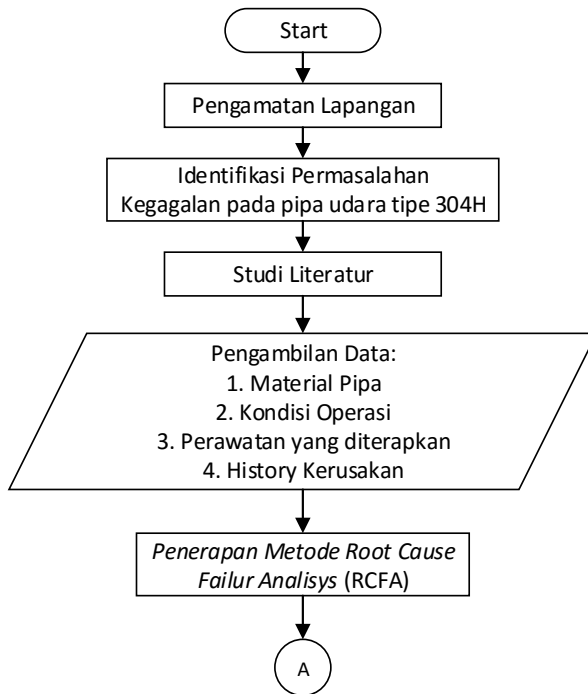
Gambar 2.13 Hasil EDS ^[17]

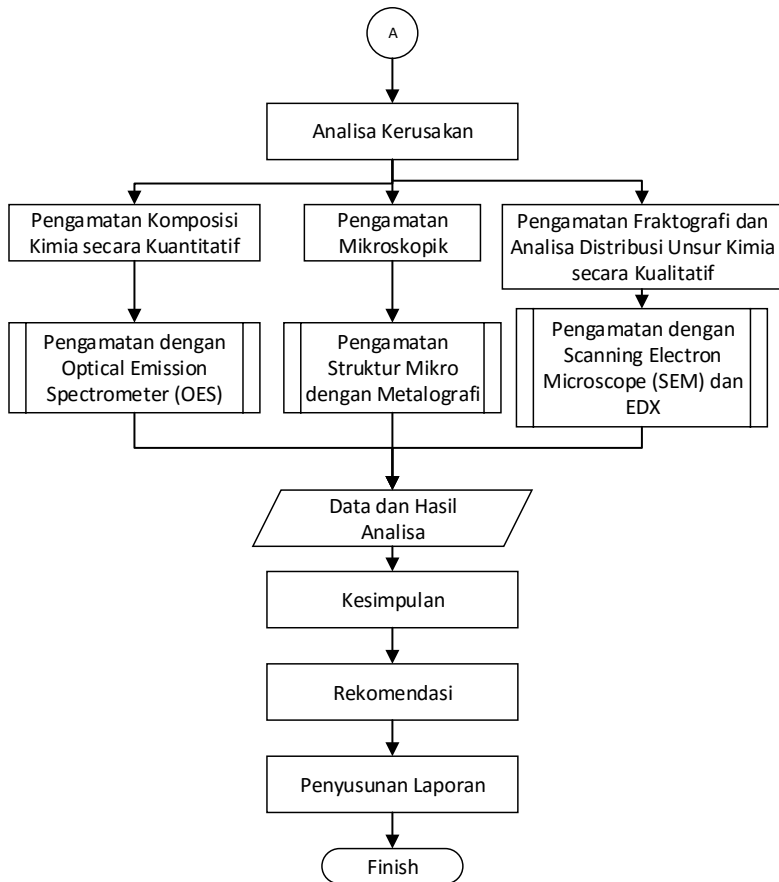
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini akan menjelaskan mengenai prosedur penelitian dalam bentuk *flowchart* dan penjelasannya agar mudah untuk dipahami. Bab ini dijelaskan pula metode pengujian yang dilakukan, prosedur pengujian yang ditampilkan dalam bentuk *flowchart* dan keterangannya serta waktu dan tempat dilaksanakannya penelitian atau pengujian.

3.1. Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini langkah-langkah penelitian mengacu pada diagram alir (*flowchart*) pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Keterangan:

1. Pengamatan Lapangan

Penelitian tugas akhir ini melakukan pengamatan lapangan di unit amonia pabrik 1 PT.Petrokimia Gresik. Dengan tujuan

untuk mencari permasalahan yang harus diselesaikan untuk diangkat sebagai topik tugas akhir.

2. Identifikasi Permasalahan

Kasus kegagalan *equipment* di unit amonia pabrik 1 PT.Petrokimia Gresik yang diangkat sebagai obyek penelitian tugas akhir adalah kegagalan pada pipa udara *Line A1011* (25P2J) pada unit amonia. Kasus kegagalan ini selanjutnya akan ditindak lanjuti dengan beberapa analisa dan pengujian.

3. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mencari materi dan teori yang berhubungan dengan penelitian. Materi yang dibutuhkan yaitu penjelasan *stainless steel*, bentuk kerusakan pada pipa *stainless steel*, jenis metode yang digunakan dan pengujian yang akan dilakukan.

4. Pemilihan Metode yang Akan Digunakan

Metode yang digunakan adalah RCFA (*root cause failur analysis*), dengan menggunakan metode ini diharapkan dapat menemukan akar permasalahan penyebab terjadinya kegagalan pipa udara tipe 304H pada *line A 1011-14"* (25P2J).

5. Pengambilan Data

Data yang diambil meliputi fungsi *equipment*, lokasi, dan spesifikasi *equipment* yang akan diteliti serta data-data kegagalan berupa waktu terjadinya kegagalan dan *history* kegagalan yang serupa. Proses pengambilan sampel pipa dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Pengambilan Sample di PT.Petrokimia Gresik

6. Analisa Kerusakan

Analisa kerusakan dilakukan dengan melakukan pengujian yang bertujuan untuk mendapatkan parameter untuk dianalisis.

a. Pengamatan Mikroskopik.

Pengamatan mikroskopik dengan menggunakan metode metalografi bertujuan untuk mengetahui struktur mikro dan adanya presipitasi karbida pada spesimen A312 tipe 304H yang telah mengalami kegagalan. Pengamatan struktur mikro dilakukan menggunakan mikroskop optik seperti gambar 3.3, kemudian gambar ditangkap oleh kamera yang peka terhadap cahaya dan langsung dihubungkan ke komputer. Penggunaan mikroskop optik dapat meningkatkan resolusi dan kontras dari spesimen dengan perbesaran mencapai 1000x. Pengamatan dilakukan pada daerah *base metal*, lasan dan HAZ. Pada pengujian ini, sempel yang telah dietsa diletakkan dibawah mikroskop optik. Kemudian perbesaran diatur sehingga mendapatkan gambaran mikrostruktur yang jelas.



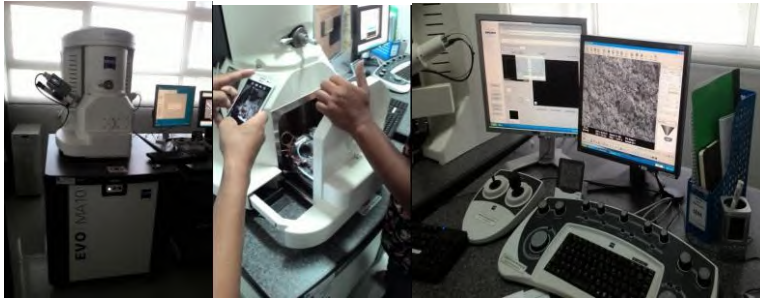
Gambar 3.3 *Microscope Optic*

b. Pengamatan Komposisi Kimia

Pengamatan komposisi kimia dengan metode (*spectrometry*) untuk mengetahui komposisi kimia pada spesimen tipe A312 tipe 304H. Pengujian dengan melakukan penembakan (*Sparking*) pada spesimen, kemudian akan terlihat hasil pengujian berupa komposisi kimia spesimen pada layar komputer. Penembakan dilakukan pada beberapa titik, kemudian memeriksa beberapa hasil yang didapat apakah sesuai dengan standart deviasi yang ditentukan atau belum.

c. Pengamatan Fraktografi dan Pematakan Unsur Kimia

Pengujian Fraktografi dengan menggunakan metode (*scanning electron microscope*) SEM dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bentuk patahan dan adanya *crack* pada spesimen A312 tipe 304H. Observasi dilakukan dengan pengambilan gambar fraktografi menggunakan mikroskop elektron dengan cara material dimasukkan ke dalam *speciment chamber* pada mesin SEM seperti pada Gambar 3.4. Pemotretan dilakukan dengan menggunakan perbesaran yang diinginkan untuk mengetahui bentuk patahan, batas butir, keretakan, dan dislokasi. Hasil pemotretan berupa gambar SEM yang kemudian dianalisa.



Gambar 3.4 Alat Uji SEM (EVO MA10)

7. Analisa Data

Analisa data bertujuan untuk mengolah data-data yang didapat dari pengujian yang dilakukan.

8. Kesimpulan

Kesimpulan didapat dari analisa data-data yang didapat dari pengujian, sehingga dapat diketahui penyebab kegagalan pipa udara A312 tipe 304H pada line A 1011-14”

9. Rekomendasi

Rekomendasi dibuat berdasarkan kesimpulan yang didapat. Rekomendasi bertujuan untuk mencegah agar kejadian serupa tidak terjadi lagi.

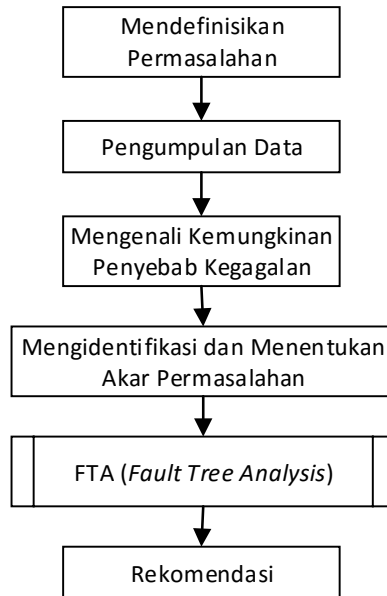
3.2. Langkah-langkah RCFA (*Root Cause Failure Analysis*)

Langkah-langkah metode RCFA (root cause failere analysis) dapat dilihat pada Gambar 3.5.

Keterangan:

1. Mendefinisikan Permasalahan

Permasalahan pada *line A 1011-14”* adalah hampir setiap lasan pipa mengalami *crack* dan pada bulan february 2015 terjadi pecah pada lasan longitudinal pipa.



Gambar 3.5 Flowchart RCFA

2. Pengumpulan Data

Data yang yang dibutuhkan adalah *data record* dari operator berupa *record* tekanan dan temperatur saat terjadi kegagalan, serta data history kegagalan yang terjadi sebelumnya.

3. Mengenali Kemungkinan Penyebab Kegagalan

Dari data-data yang didapat kemudian ditentukan faktor yang memungkinkan menjadi penyebab terjadinya kegagalan

4. Mengidentifikasi dan Menentukan Akar Permasalahan

Faktor-faktor yang memungkinkan menjadi peyebab kegagalan diidentifikasi dengan menggunakan tool yaitu FTA (*fault tree analysis*) diagram.

5. Rekomendasi

Setelah ditemukannya akar penyebab terjadinya kegagalan, langkah selanjutnya yaitu membuat rekomendasi yang sesuai agar kegagalan tidak terulang kembali.

3.3. Alat dan Bahan

• Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- a. Gergaji Besi
Pemotongan material dilakukan dengan menggunakan gergaji besi agar tidak menimbulkan panas yang dapat berpengaruh pada sifat mekanik material.
- b. Kertas Gosok grade 100, 300, 600, 800, 1000, 1200, dan 2000
- c. Alat *polishing*
- d. Meteran Kain untuk pengukuran *strain* pada material
- e. Jangka Sorong untuk pengukuran ketebalan pipa
- f. *Optical Emission Spectrometer* ARC-MET8000 untuk pengamatan komposisi kimia
- g. SEM EVOMA10 untuk pengamatan fraktografi dan komposisi kimia material
Perbesaran pada mesin SEM EVOMA10 mencapai 25000x
- h. Alat Uji Metalografi (*Microscope Olympus*)
Mikroskop optik Olympus mempunyai perbesaran 100x, 500x, 1000x, dan 2500x.

• Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- a. Material Uji
Material uji yang digunakan adalah material pipa A 312 tipe 304H yang mengalami kegagalan yang akan dilakukan pengujian.

- b. Aquades dan Asam Oksalat (*Oxalic Acid*) digunakan untuk proses etsa spesimen yang akan dilakukan pengamatan struktur mikro.

3.4. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Januari sampai bulan Juni, dan untuk tempatnya:

- a. Untuk pemotongan material pipa dilakukan di PT.Petrokimia Gresik
- b. Untuk pengujian komposisi kimia dengan metode OES (*Optical Emission Spectrometry*) dilakukan di Laboratorium Material Departemen Inspeksi PT. Petrokimia Gresik.
- c. Untuk pengamatan Fraktografi dengan metode SEM (*Scanning Electron Microscope*) dan EDX dilakukan di Laboratorium Energi Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- d. Untuk pengujian metalografi dilakukan di laboratorium material dan metalurgi Teknik Mesin FTI-ITS.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini berisi tentang analisa kegagalan pipa udara A312 tipe 304H pada *line A 1011-14"* (25P2J) beserta tahapan RCFA dan analisa dari hasil pengujian yang telah dilakukan. Pengujian-pengujian yang dilakukan bersifat analisis terhadap aspek internal material yang meliputi bentuk patahan, komposisi kimia, dan struktur mikro material.

Metode RCFA (*root cause failure analysis*) dapat mengidentifikasi suatu permasalahan dengan mencari penyebab utama terjadinya kegagalan maupun faktor-faktor yang memungkinkan baik langsung maupun tidak langsung berkontribusi terhadap permasalahan ^[1]. Maka dari itu untuk menemukan akar permasalahan penyebab kegagalan menggunakan metode tersebut.

4.1. Definifi Permasalahan

Komponen yang mengalami kegagalan adalah pipa udara A312 tipe 304H pada *line A 1011-14"* (25P2J) Unit Amonia PT.Petrokimia Gresik. Sejak tahun 2004 *line* tersebut mulai mengalami keretakan yang ditemukan saat dilakukan inspeksi menggunakan *dye penetrant* yang dijadwalkan 2 tahun sekali. Retakan ditemukan pada sebagian besar sambungan *circumferential*. Jika ditemukan retakan maka langsung diperbaiki sehingga memperpanjang waktu *shutdown*. Walaupun begitu, pada kenyataannya inspeksi masih tidak dilakukan secara rutin. Tabel 4.1 menunjukkan data kerusakan *line 25P2J* yang berhasil dikumpulkan.

Tanggal 14 januari 2015 terjadi pecah pada sambungan *longitudinal* dan sambungan *circumferential* yang berada dekat *outlet heater 103-BCA 2*. Kegagalan yang terjadi pada sambungan *circumferential* adalah terjadi *toe crack* pada bagian *base metal* sedangkan pada sambungan *longitudinal* terjadi pecah.

Tabel 4.1 Data History Kerusakan line A 1011-14" (25P2J)

| Tanggal | Hasil Pemeriksaan | Rekomendasi dan Pelaksanaan |
|----------------|--|---|
| 2-6-2004 | Kondisi Lasan Pipa Retak Hampir pada Semua <i>Joint</i> | <i>Repair</i> total semua lasan dengan <i>electrode</i> E-308 H. Semua lasan yang retak di <i>reinforce</i> . |
| 2-1-2007 | Terjadi <i>crack</i> bagian <i>rainforce</i> (hampir semua joint) | <i>Crack</i> digerinda sampai hilang kemudian di <i>reweld</i> |
| 28-4-2012 | <i>Crack</i> pada J1 | <i>Repair</i> dengan <i>filler</i> E 308 H kemudian di <i>Reinforce</i> dengan material SS 304 H |
| 14-1-2015 | Terjadi Pecah pada Pipa antara J2 dan J3 | Penggantian pipa material A312 TP 304 H sch 60 panjang 2100 mm |
| | Terdapat <i>toe crack</i> pada base metal pipa bekas <i>rainforce</i> pad J1, J2, J3 dan J | Dilakukan penggerindaan sampai hilang dan pemasangan kembali <i>rainforce</i> pad |

Kronologi kegagalan sambungan longitudinal:

1. **11 Januari 2015** : *Shutdown* untuk penggantian *Governor Control Pressure Low* (PCV-6123) karena kontrol kurang baik.
2. **13 Januari 2015**: Penggantian kabel trisen karena terinduksi.
3. **14 Januari 2015** : Terjadi kegagalan *line A1011-14"* dengan kronologi sebagai berikut
19:28: Pabrik masih beroperasi normal
19:29: Kondisi tidak normal terjadi di Pabrik Amoniak dimana kompresor udara (101-J) memberikan alarm *low speed* (SI1001A indikasi speed 6135 rpm).
19:29: Secara otomatis HC-1021 membuka 20% , *flow steam* yang masuk yaitu 15.45 ton/jam. HC-1021 adalah *Control*

Valve Protect Steam yang berfungsi sebagai pengaman *line* udara proses saat terjadi *shut down* dengan mengalirkan *steam protection (Medium Pressure Steam)* agar tidak terjadi *overheat*.

19:35: *Line* udara proses (lebih tepatnya di posisi *outlet* 101-BCA2) mengalami kegagalan (pecah) sehingga menimbulkan suara menyerupai ledakan yang cukup keras.

Pada Gambar 4.1 akan dijadikan obyek yang akan diteliti, dimana pipa yang mengalami kegagalan akan dipotong untuk dijadikan spsimen uji.



Gambar 4.1 Pipa yang Mengalami Kegagalan

4.2. Pengumpulan Data

Data-data awal yang didapat dari departemen inspeksi, dan departemen produksi PT.Petkimia Gresik. Data-data tersebut antara lain data teknis pipa udara, bentuk kegagalan, posisi kegagalan serta *record* temperatur, tekanan.

Tabel 4.2 Data Teknis Pipa Udara

| Material Pipa Udara A 1011-14" | A-321 tipe 304H |
|-----------------------------------|-------------------------|
| <i>Diameter</i> | 14" |
| <i>Schedule</i> | 60 |
| <i>Ketebalan Pipa</i> | 15.6mm |
| <i>Tekanan Opeasi</i> | 35.7 kg/cm ² |
| <i>Temperatur Operasi</i> | 610 °C |

Tabel 4.3 Mechanical Properties

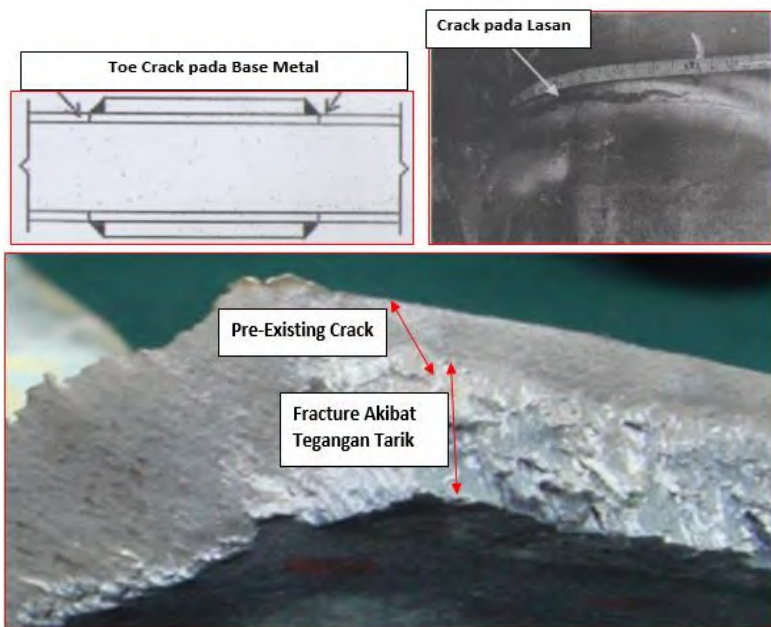
| Temperature | | Yield Strength | | Tensile Strength | |
|-------------|-----|----------------|-----|------------------|-----|
| °F | °C | ksi | Mpa | ksi | Mpa |
| 1100 | 593 | 16.4 | 113 | 53.2 | 367 |
| 1300 | 704 | 13.8 | 95 | 35 | 241 |
| 1500 | 816 | 9.9 | 68 | 18 | 124 |

Tabel 4.4 Component Elements Properties

| Grade TP304H | |
|-------------------|---------------|
| Component Element | Composition % |
| <i>Carbon</i> | 0.04-0.10 |
| <i>Manganese</i> | 2.00 |
| <i>Phosphorus</i> | 0.045 |
| <i>Sulfur</i> | 0.030 |
| <i>Silicon</i> | 1.00 |
| <i>Chromium</i> | 18.0-20.0 |
| <i>Nicel</i> | 8.0-11.0 |

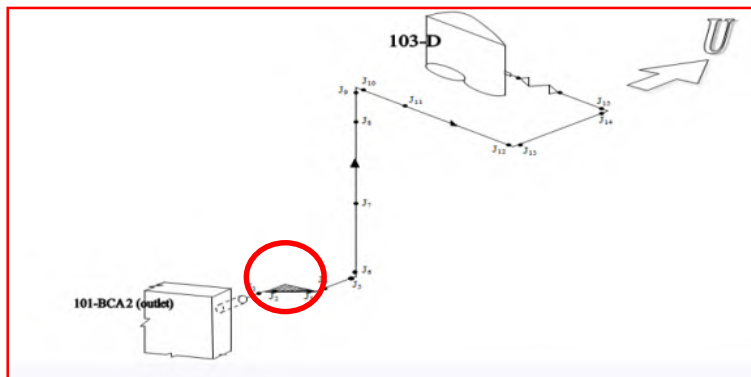
4.2.1. Bentuk Kegagalan

Ada dua jenis kegagalan yang terjadi pada *line A1011-14"* (25P2J), yaitu terjadinya *crack* pada sambungan *circumferential* dan pecah pada sambungan las *longitudinal*. *Crack* pada sambungan *circumferential* terjadi pada bagian lasan, dan *toe crack* di *base metal* saat terjadi pecah di sambungan las *longitudinal*. Bentuk kegagalan pada *line A1011-14"* (25P2J) dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Bentuk Kegagalan pada *Line A 1011-14'' (25P2J)*

4.2.2. Lokasi Kegagalan

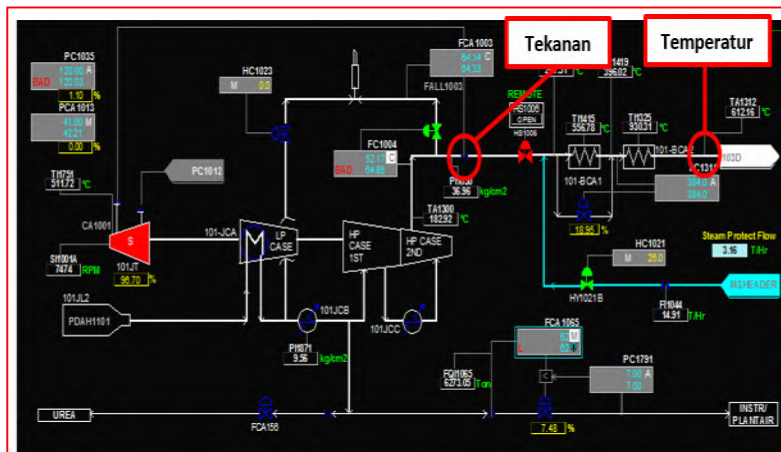


Gambar 4.3 Lokasi Terjadinya Kegagalan

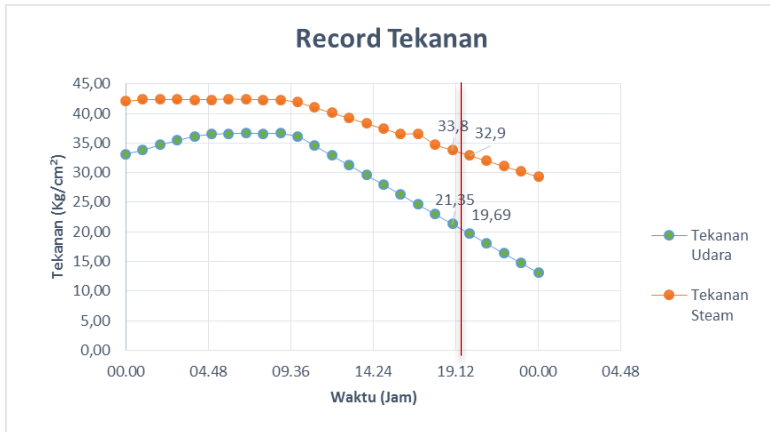
Lokasi kegagalan berupa *crack* disebagian besar lasan *circumferential* pipa, sedangkan pipa yang mengalami pecah di dekat *outlet heater* 101-BCA 2 yang ditunjukkan pada Gambar 4.3.

4.2.3. Data Record Tekanan dan Temperatur Saat Terjadi Kegagalan

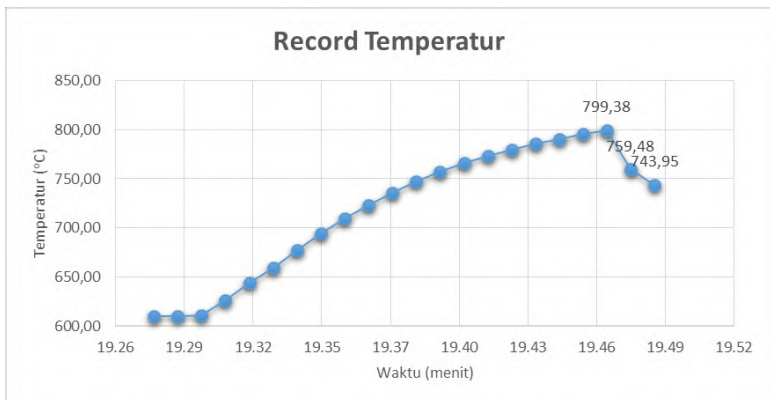
Data *record* tekanan dan temperatur didapat dari departemen produksi 1 PT.Petrokimia Gresik, dimana data yang didapat adalah data operasi tanggal 14 Januari 2015. Data tekanan dan temperatur udara saat mengalami kegagalan dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan 4.6, sedangkan posisi pengukuran tekanan dan temperatur dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Berdasarkan penjelasan tersebut, tekanan operasi yang terjadi pada *line A 1011-14"* (25P2J) bukan yang terbaca pada *control room*, melainkan tekanan yang terjadi lebih kecil, hal ini diakibatkan karena adanya *pressure drop*.



Gambar 4.5 Grafik *Record Tekanan*



Gambar 4.6 Grafik *Record Temperatur*

Gambar 4.5 menunjukkan adanya penurunan tekanan udara mulai pukul 11.00 WIB, hal ini disebabkan kompresor 101-

J mengalami *low speed*, dengan adanya *low speed* pada kompresor maka debit udara akan menurun. Penurunnya tekanan dan debit udara maka akan mengakibatkan terjadi kenaikan temperatur pada pipa karena kurangnya fluida yang akan dipanaskan, sehingga pipa mengalami *overheat* kemudian menyebabkan pecah. Gambar 4.6 terlihat mengalami kenaikan temperatur mulai pukul 19.28 sampai 19.47 WIB, kemudian terjadi penurunan temperatur setelah temperatur mencapai 799.38°C. Adanya penurunan temperatur mengindikasikan bahwa ledakan yang menyebabkan pipa pecah terjadi pada pukul 19.47 WIB. Saat terjadi pecah pukul 19.47 temperatur mencapai 799.38°C dan tekanan udara turun hingga diantara 21.35 kg/cm² dan 19.69 kg/cm².

4.3. Identifikasi Penyebab yang Mungkin

Untuk mengidentifikasi penyebab yang mungkin menjadi penyebab kegagalan, maka pada penelitian ini digunakan *tool* FTA (*Fault Tree Analysis*) diagram untuk mempermudah menentukan akar permasalahan.

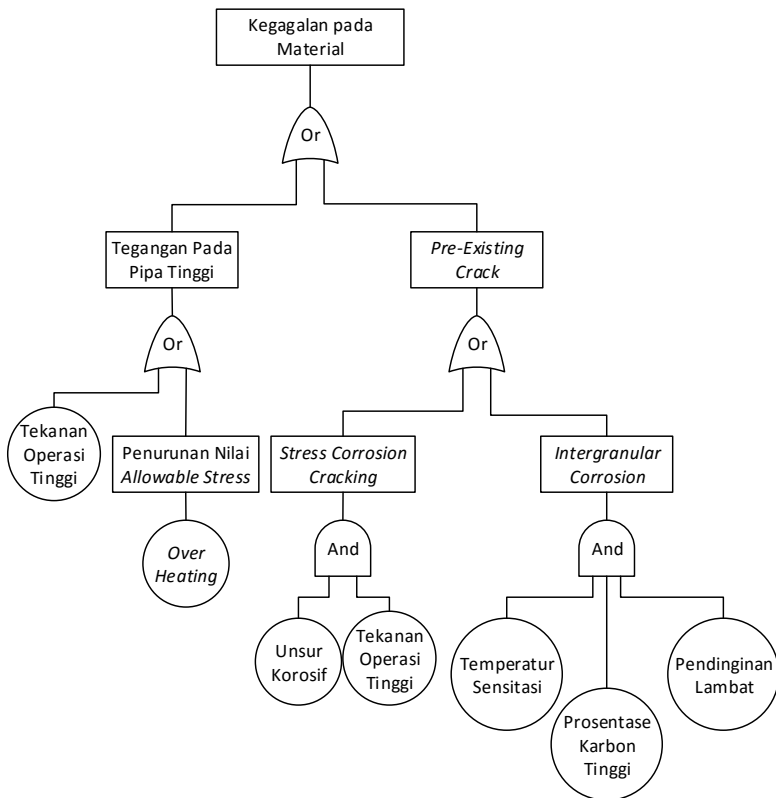
4.3.1. FTA (*Fault Tree Analysis*) Diagram Kegagalan Meledaknya Pipa

Diagram FTA ini menyediakan diskripsi secara skematik dari kombinasi kejadian yang memungkinkan pada sistem yang mengakibatkan kejadian yang tidak diinginkan. Identifikasi yang dilakukan menggunakan *tool* (*fault tree analysis*) FTA seperti pada Gambar 4.7, dimana dalam penyelesaiannya menggunakan *logical gate* untuk menghubungkan antara satu kejadian (*event*) dan kejadian yang lain pada suatu sistem tersebut. Metode ini dapat mengidentifikasi bagaimana proses kegagalan suatu sistem, dengan mengetahui proses kegagalan pada suatu sistem maka perbaikan pada sistem dapat dilakukan agar kejadian yang sama dapat dicegah^[1]. *Fault tree analysis* diagram secara umum dapat dilihat pada lampiran.

Pada *Fault tree analysis* diagram pada lampiran menjelaskan faktor yang memungkinkan menjadi penyebab terjadinya kegagalan pada *line* A 1011-14” (25P2J) ditinjau dari

aspek *human error*, proses perawatan, material, lingkungan dan *equipment*. Setelah diketahui kejadian yang memungkinkan menjadi penyebab kegagalan, kemudian dilakukan metode *brainstorming* dan *interview* untuk mengerucutkan aspek penyebab terjadinya kegagalan.

Hasil dari diskusi dengan pihak inspektor PT.Petrokimia Gresik didapatkan bahwa analisa lebih lanjut pada aspek material, dimana material pipa pada waktu operasi pada temperatur tinggi dan pipa telah beroperasi selama lebih dari 15 tahun.

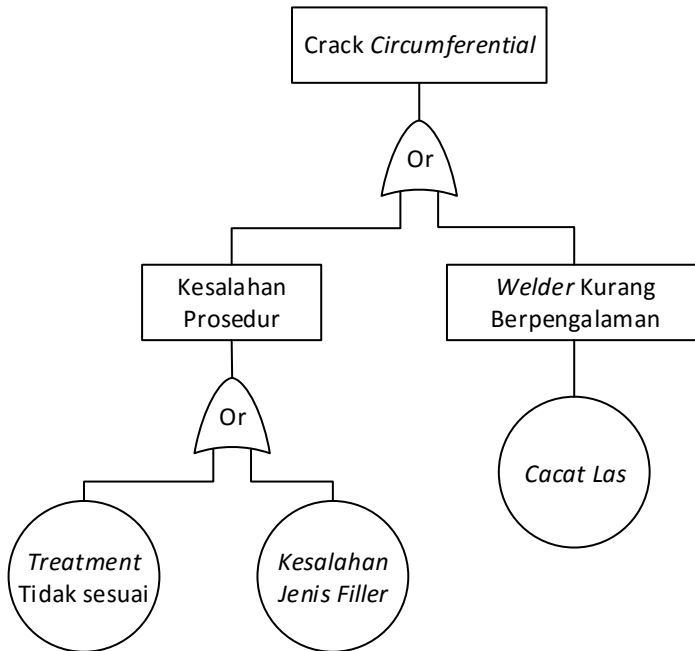


Gambar 4.7 FTA Kegagalan karena Faktor Material

Dari diagram FTA pada Gambar 4.7 telah mengerucut pada kegagalan material, maka langkah selanjutnya yaitu membuat hipotesa yang kemudian dibuktikan dengan data yang telah dikumpulkan dan pengujian pada material.

1. Hipotesa yang ditarik yaitu, dilihat dari bentuk patahan pada pipa terdapat *crack* awal atau *pre-existing crack* terjadi pada las *longitudinal* pipa. Akibat adanya *pre-existing crack* yang terjadi pada pipa, jika ada kenaikan temperatur akan membuat tegangan pada pipa bertambah dan terjadi pecah.
- 2.a. Diketahui bahwa pipa beroperasi pada temperatur 610 °C. *Intergranular corrosion* pada *austenitic stainless steel* terjadi pada temperatur menengah, temperatur antara 425°C sampai 815°C kromium karbida akan mengalami *precipitates* pada batas butir. Selain menyebabkan kerusakan pada material, *intergranular corrosion* juga mengakibatkan kerusakan pada lasan ^[5]. Atas dasar hal tersebut dimungkinkan *pre-existing crack* terjadi akibat adanya *intergranular stress corrosion cracking* yang menimbulkan adanya *micro cracking*.
- 2.b. *Pre-existing crack* juga dimungkinkan terjadi akibat adanya *stress corrosion cracking*. *Stress Corrosion Cracking (SCC)* didefinisikan sebagai pertumbuhan retak pada material karena tegangan tarik dan berada di lingkungan yang korosif pada logam aktif atau paduan. Jadi selain adanya tegangan sisa sebagai penyebabnya, SCC juga di pengaruhi oleh lingkungan korosi seperti adanya *chloride ions* ^[5]. Karena kerusakan terjadi pada bagian las dimungkinkan adanya tegangan sisa, dan karena setiap kali *shutdown* menggunakan *steam* untuk fluida *protection*, maka ada kemungkinan ditemukannya unsur korosif.

4.3.2. FTA (*Fault Tree Analysis*) Diagram Kegagalan *Crack* pada Sambungan *Circumferential*



Gambar 4.8 FTA *Crack Circumferential*

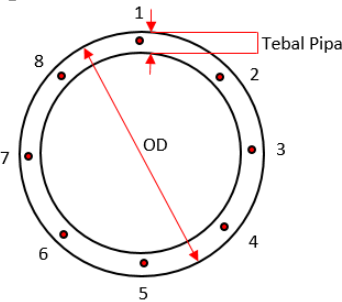
- Treatment* tidak sesuai dengan WPS yaitu dalam pengelasan tidak dilakukannya *preheat*, sehingga mengakibatkan cacat pada las.
- Kesalahan filler akan menyebabkan terjadinya cacat, seperti logam *filler* tidak menyatu dengan base metal dan dapat terjadi korosi galvanis antara logam filler dan base metal.
- Menggunakan *welder* yang kurang berpengalaman akan memungkinkan terjadi beberapa kesalahan prosedur, sehingga terjadi beberapa kegagalan pada lasan.

4.4. Identifikasi Akar Permasalahan

Identifikasi akar permasalahan dilakukan untuk membuktikan hipotesa yang ditarik. Untuk membuktikan hipotesa tersebut dibutuhkan pengujian-pengujian terhadap material pipa A312 Tipe 304H, perhitungan tegangan yang terjadi.

4.4.1. Perhitungan Tegangan pada Pipa

Pengukuran pipa dilakukan pada dua sampel, dan tiap sampel diambil 8 titik pengukuran. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan jangka sorong ketelitian 0.05 mm, dengan posisi pengukuran seperti pada Gambar 4.8.



Gambar 4.9 Posisi Pengukuran Ketebalan Pipa

Tabel 4.5 Hasil Pengukuran Ketebalan Pipa Udara

| No | Tebal Pipa | | |
|----|---------------------|---------------------|-----------------------|
| | Tebal Sampel 1 (mm) | Tebal Sampel 2 (mm) | Desain Awal Pipa (mm) |
| 1 | 14.05 | 14.00 | 15.6 |
| 2 | 13.85 | 14.10 | |
| 3 | 14.80 | 13.90 | |
| 4 | 13.90 | 13.80 | |
| 5 | 14.00 | 13.95 | |
| 6 | 13.85 | 13.85 | |
| 7 | 13.80 | 13.85 | |
| 8 | 13.75 | 14.00 | |

Hasil pengukuran didapat pengurangan ketebalan pada pipa udara, dimana nilai ketebalan pipa terkecil adalah 13.75mm atau 0.54 inch. Adanya pengurangan ketebalan pipa dapat menyebabkan kenaikan tegangan pada pipa akibat tekanan operasi, setelah dilakukan pengukuran ketebalan kemudian dilakukan perhitungan tegangan pada pipa.

- **Perhitungan Tegangan yang Terjadi pada Pipa setelah Terdapat Pengurangan Ketebalan Pipa**

Dari data tekanan yang didapat, dapat dihitung tegangan dengan arahnya sejajar dengan sumbu *circumferential* yang terjadi pada pipa. Dengan interpolasi didapat tekanan operasi sebesar 20.53 kg/cm² atau 292 psi, sedangkan temperatur operasi mencapai 799.38 °C ≈ 800 °C.

$$\sigma_{SH} = \frac{P(r_i^2 + \frac{r_o^2 \cdot r_i^2}{r_o^2})}{r_o^2 - r_i^2}$$

$$\sigma_{SH} = \frac{292 (6.73^2 + \frac{6.73^2 \times 7^2}{6.86^2})}{7^2 - 6.73^2}$$

$$\sigma_{SH} = \frac{292 (45.29 + \frac{45.29 \times 49}{47.05})}{49 - 45.29}$$

$$\sigma_{SH} = \frac{292 (45.29 + 47.16)}{3.71}$$

$$\sigma_{SH} = 7276.38 \text{ psi}$$

Saat terjadi kegagalan temperatur udara pada pipa mencapai 799.38°C, dimana ketahanan temperatur pipa A312-304H adalah 815°C, pada temperatur 799.38°C *yield strength* material pipa A312-304H sebesar 68 Mpa atau 9900 psi. Tegangan yang terjadi pada pipa yang disebabkan oleh

tekanan operasi sebesar 20.53kg/cm^2 adalah 7276.38 psi. Besar tegangan pada pipa bisa lebih kecil dari 20.53kg/cm^2 karena penempatan alat ukur tekanan tidak pada pipa udara line A 1011-14", melainkan pemasangan *instrument* alat ukur dipasang sebelum masuk 101-BCA 1 dan 101-BCA 2 seperti ditunjukkan pada gambar 4.4. Penempatan instrumen alat ukur yang dipasang jauh sebelum line A1011-14" dapat menimbulkan penurunan tekanan akibat *pressure drop*, sehingga saat udara masuk ke line A 1011-14" tekanan kurang dari 20.53kg/cm^2 . Hasil perhitungan tegangan yang terjadi pada pipa berada di bawah *yield strenght* material, sehingga dengan adanya penipisan ketebalan pipa bukan penyebab terjadinya pecah pada pipa. Pipa akan mengalami pecah apabila tegangan pada pipa melampaui *tensile strength* material, dimana nilai *tensile strength* material 304H pada temperatur 800°C mencapai 18000 psi.

- **Perhitungan Tegangan yang Terjadi pada Pipa setelah adanya pengurangan ketebalan pipa dan adanya *pre-existing crack***

Hasil dari perhitungan tegangan pada pipa setelah adanya pengurangan ketebalan *crack* belum membuktikan hal tersebut merupakan penyebab terjadinya kegagalan, oleh karena itu dilakukan perhitungan kembali dengan keadaan pipa yang telah terjadi pengurangan ketebalan serta adanya *pre-existing crack*.

Hasil pengukuran *pre-existing crack* terjadi dilakukan pada 6 titik kemudian diambil rata-ratanya. Hasilnya menunjukkan 3mm, 3.2mm, 2.95mm, 3.35mm, 3.25, dan 3.4mm, sehingga didapatkan nilai rata ukuran *pre-existing crack* adalah 3.19mm atau 0.125inch. Adanya *pre-existing crack*, maka dalam perhitungan ketebalan pipa akan dikurangi ukuran *pre-existing crack* tersebut.

$$\sigma_{SH} = \frac{P(r_i^2 + \frac{r_i^2 \cdot r_o^2}{r^2})}{r_o^2 - r_i^2}$$

$$\sigma_{SH} = \frac{292 (6.73^2 + \frac{6.73^2 \times 7^2}{6.86^2})}{7^2 - 6.85^2}$$

$$\sigma_{SH} = \frac{292 (45.29 + \frac{45.29 \times 49}{47.05})}{49 - 46.92}$$

$$\sigma_{SH} = \frac{292 (45.29 + 47.16)}{2.08}$$

$$\sigma_{SH} = 12978.55 \text{ psi}$$

Hasilnya menunjukkan bahwa tegangan pipa yang terjadi 12978.55 psi melampaui *yield strength* material yaitu 9900 psi, akan tetapi masih dibawah *tensile strength* material yaitu 18000 psi. *Pre-existing crack* yang terjadi bukan merupakan penyebab pecahnya pipa udara. Perhitungan tegangan tidak menunjukkan akar permasalahan meledaknya pipa udara, maka dari itu akan dilakukan pengamatan mikro untuk menemukan penyebab adanya *pre-existing crack* dan penyebab pipa pecah sebelum melampaui *yield strength* material.

- Pengukuran *Strain* yang Terjadi

Pengukuran *circumferential* pipa menggunakan meteran kain

Circumferential pipa teoritis : $\Pi \times 355 = 1114,7 \text{ mm}$

Hasil pengukuran : 1125 mm

$$(\text{Strain}) \varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

$$(\text{Strain}) \varepsilon = \frac{1125 - 1114,7}{1114,7}$$

$$(\text{Strain}) \varepsilon = 0.0092 \approx 0.01$$

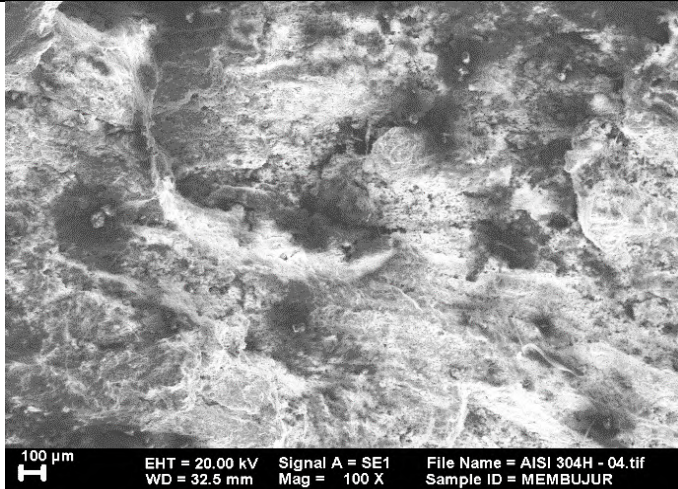
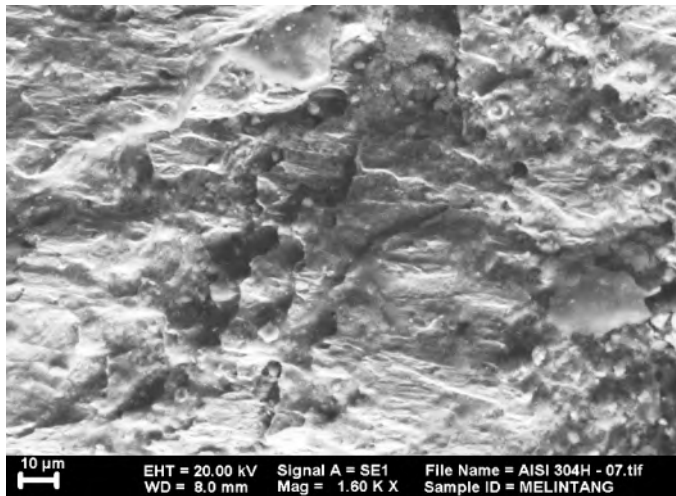
Dari hasil perhitungan *strain* menunjukkan bahwa *strain rate* pada pipa rendah yaitu 0.01 %. Hasil pengukuran menunjukkan pipa belum mengalami *creep* pada stadium yang dapat menyebabkan terjadinya kegagalan pada pipa. Material dikatakan mengalami kegagalan karena *creep* apabila material tersebut mengalami deformasi plastis pada tegangan konstan dan temperatur tertentu hingga patah atau pecah dalam rentan waktu yang relatif lama. Pada kasus pecahnya pipa udara, temperatur operasi berubah secara cepat dari 610°C hingga 799.38°C, sehingga dengan adanya kenaikan temperatur mengakibatkan penurunan *yield strength* dan *tensile strength* material pipa.

4.4.2. Hasil Pengamatan Fraktografi menggunakan SEM (*Scanning Emission Microscope*)

Pengujian fraktografi dengan menggunakan SEM bertujuan untuk mengetahui bentuk patahan pada sisi-sisi pipa yang mengalami *fracture*. Dari hasil pengambilan foto didapat dua bentuk patahan, patahan pada sambungan las *longitudinal* dan patahan pada sambungan las *circumferential*. Hasil pengamatan fraktografi dengan menggunakan SEM dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Pengamatan Fraktografi dengan SEM (*Scanning Electron Microscope*)

| Lokasi Sampel yang Diuji |
|--|
| <p data-bbox="210 320 748 347">1. Patahan pada bagian Las <i>Circumferential</i></p> <div data-bbox="311 355 854 735"></div> <div data-bbox="319 820 848 1209"></div> |

Foto SEM Hasil Pegujian**Perbesaran 100x****Perbesaran 1600x**

Patahan berbentuk seperti bentuk deretan bukit (*ridges formed*)

Lokasi Sampel yang Diuji

2. Patahan pada bagian Las *Longitudinal*

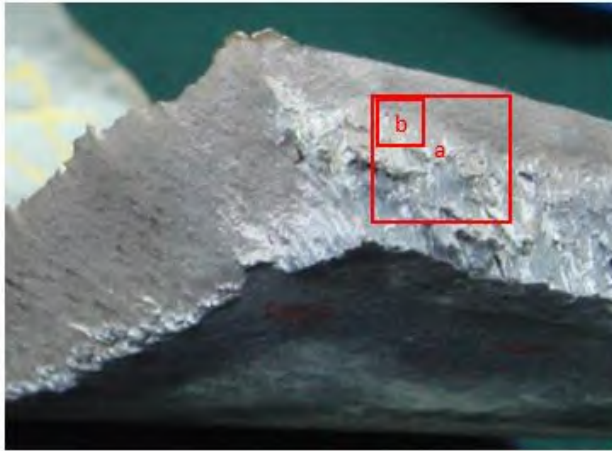
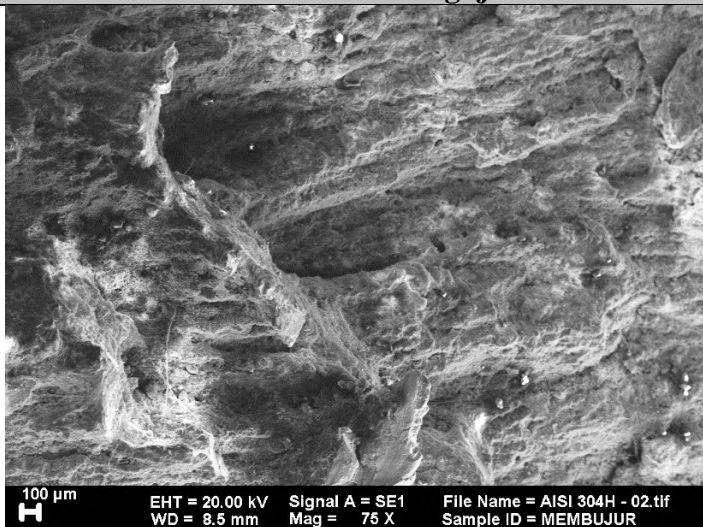
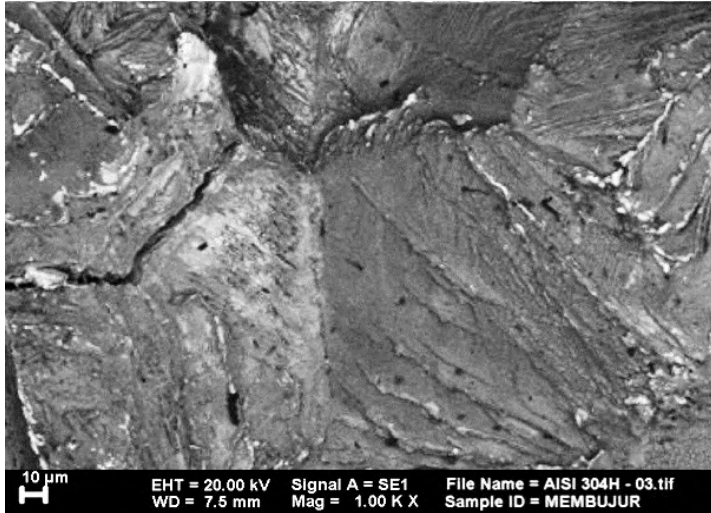


Foto SEM Hasil Pegujian



Perbesaran 75x (a)

Patahan seperti akibat tegangan tarik



Perbesaran 1000x (b)

Sliding pada batas butir

Dari hasil pengamatan fraktografi didapat dua patahan yang terjadi yaitu patahan pada sambungan las *longitudinal* dan patahan *circumferential* pipa. Tabel 4.6 bagian 1 merupakan bentuk patahan pada bagian *circumferential* menggunakan SEM dengan perbesaran 1600x. Patahan berbentuk seperti bentuk deretan bukit (*ridges formed*), dimana puncaknya menuju satu arah. Berdasarkan *ASM Handbook Volume 12 – Fractography* bentuk patahan dengan ciri-ciri tersebut merupakan bentuk patahan akibat proses geser (*shear process*). Bentuk patahan yang terjadi akibat tegangan geser, sehingga pada daerah *circumferential* bukan merupakan awal terjadinya *fracture*, akan tetapi patahan pada daerah *circumferential* terjadi akibat dari adanya patahan lain, dan kemudian dilakukan pengamatan pada bagian las *longitudinal*.

Tabel 4.6 bagian 2 merupakan hasil gambar SEM pada bagian las *longitudinal* dengan perbesaran 75x. Patahan yang terjadi terlihat kasar seperti akibat adanya tegangan tarik, dibagian bawah patahan kasar terlihat adanya patahan halus yang diduga

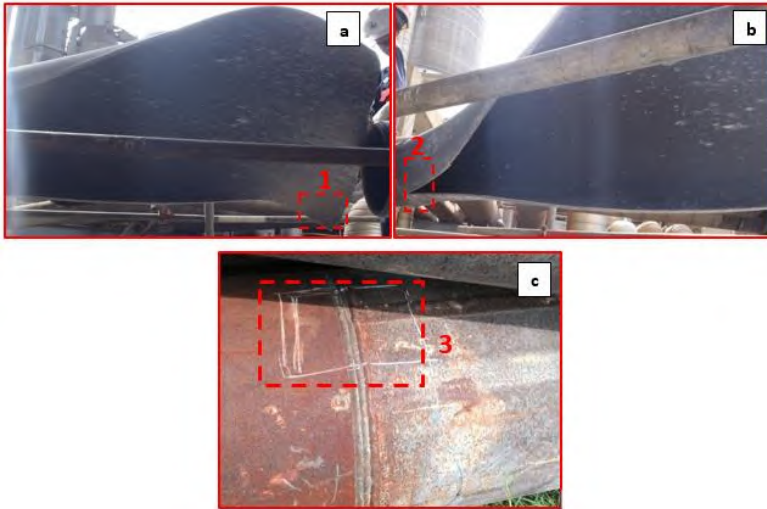
pre-existing crack. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.2, bagian permukaan yang halus yang diduga *pre-existing crack* berada pada daerah HAZ yang menjalar dari sisi pipa bagian dalam. Hasil pengamatan (*scanning electron microscope*) SEM dengan perbesaran 1000x menunjukkan pola *cracking* disebabkan *sliding* pada batas butir. *Sliding* pada batas butir diakibatkan karena lemahnya batas butir sehingga dapat mengalami deformasi.

Diketahui temperatur operasi udara adalah 610°C, dimana baja tahan karat jenis *austenitic* pada temperatur 425°C sampai 815°C, kromium karbida akan mengalami *precipitates* pada batas butir ^[5], dengan adanya *presipitates* tersebut daerah sekitar batas butir akan mudah terserang korosi. Adanya tekanan pada waktu operasi akan menyebabkan *crack* yang akan menjalar di sekitar batas butir atau sering disebut *intergranular stress corrosion cracking*. Untuk membuktikan adanya presipitasi karbida yang memicu terjadinya *pre-existing crack* pada pipa, maka dilakukan pengujian mikro menggunakan metode metalografi untuk mengetahui apa yang terjadi pada struktur mikro pipa A312 tipe 304H.

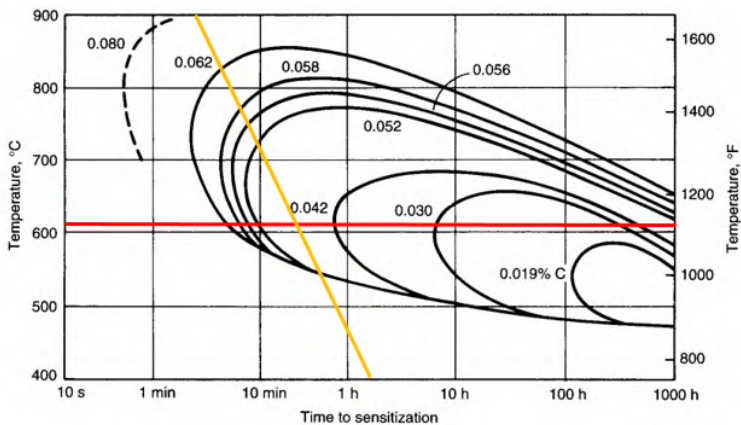
4.4.3. Hasil Pengamatan Struktur Mikro Material A312 tipe 304H

Pengamatan mikro yang dilakukan yaitu dengan pengujian metalografi untuk mengetahui bentuk struktur mikro material A312 tipe 304H yang mengalami kegagalan. Pengamatan mikro dilakukan dengan pemotongan sampel pada beberapa bagian pipa, adapun penunjukan posisi sampel yang digunakan seperti pada Gambar 4.9.

Dari hasil pengujian metalografi pada material pipa A312 tipe 304H didapatkan hasil berupa metrik *austenite* dan terdapat presipitasi karbida krom pada setiap sampel. Hasil Pengujian metalografi setiap sampel dapat dilihat pada tabel 4.7, 4.8, 4.9, dan 4.10.



Gambar 4.10 Penunjukan Lokasi Spesimen (a) dan (b) pada pipa yang mengalami pecah (c) pada daerah las yang belum mengalami pecah


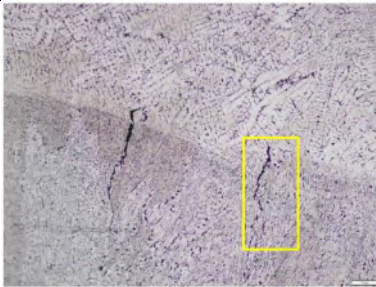



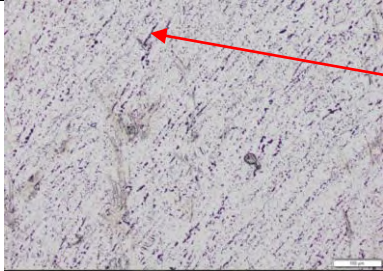

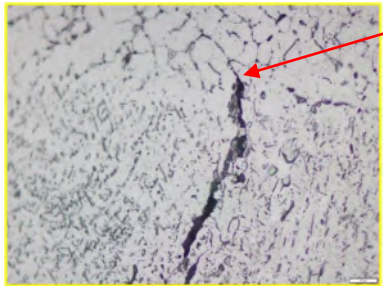
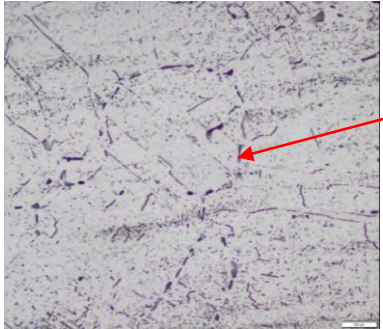
Gambar 4.11 Terjadinya Presipitasi Karbida Krom

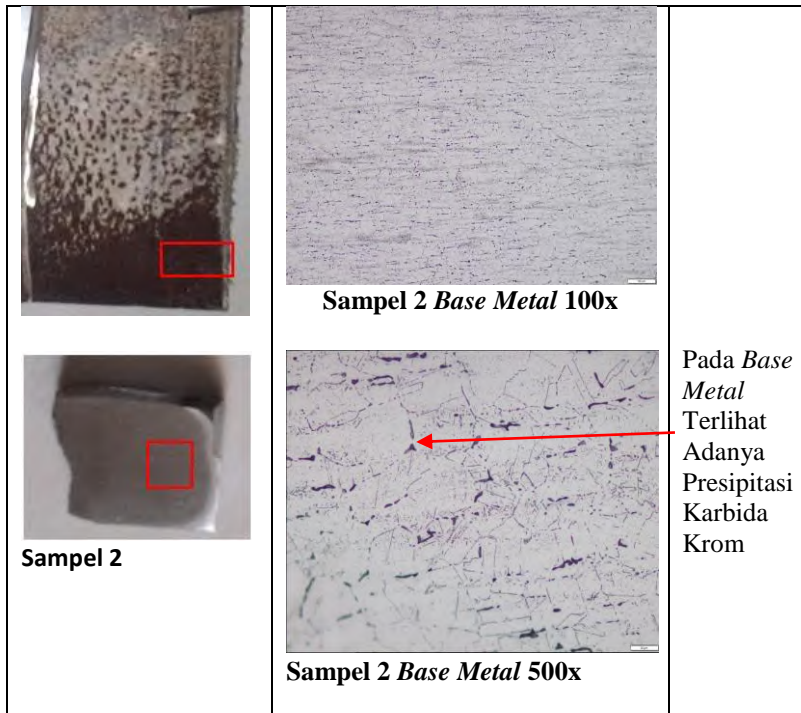
Gambar 4.11 menjelaskan tentang proses terjadinya presipitasi karbida krom. Garis merah dan kuning merupakan fungsi dari temperatur saat terjadi kegagalan dan waktu proses pendinginan. Garis merah menggambarkan temperatur operasi udara dan garis kuning merupakan pendinginan pada proses pengelasan. Hasil *interview* yang dilakukan dengan bagian pengelasan HAR 1 Petrokimia Gresik bahwa, saat proses pengelasan selesai pendinginan yang dipakai adalah dengan pendinginan udara, sehingga waktu yang diperlukan untuk proses pendinginan lebih dari 2 jam. Garis merah dan kuning pada Gambar 4.11 menunjukkan bahwa garis tersebut melewati daerah sensitasi.

Temperatur operasi 610°C merupakan temperatur sensitasi, dengan persentase karbon material pipa A312 304H adalah 0.049% akan mempercepat terjadinya presipitasi karbida krom pada batas butir. Adanya presipitasi karbida krom pada daerah batas butir, maka daerah sekitar batas butir akan kekurangan kromium dan rentan terserang korosi.

Tabel 4.7 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Material yang Mengalami Pecah pada Posisi 1

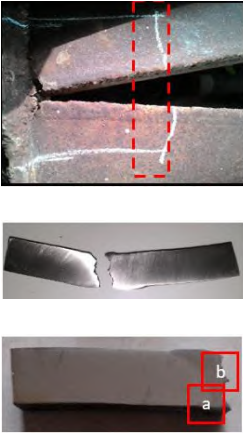

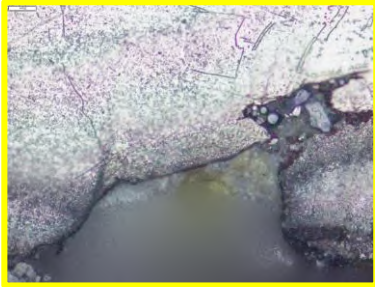
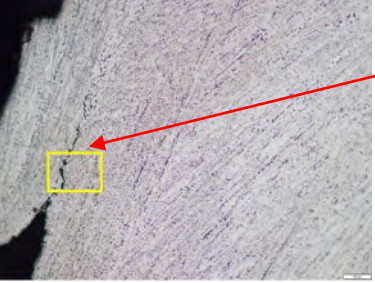
| TITIK PENGUJIAN | SRUKTUR MIKRO | KET. |
|--|---|--|
|  |  Bag. (a) sampel 1 (HAZ) 100x | <i>Crack</i> pada daerah lasan dan HAZ |

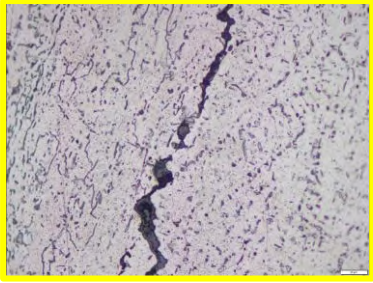
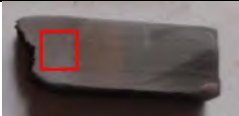
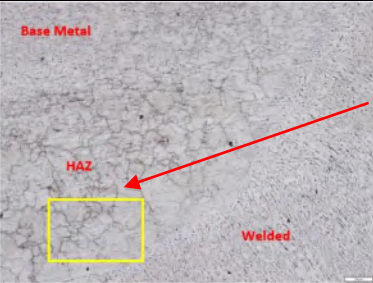

| | | |
|---|--|--|
|  |  | Fase Delta Ferit pada Daerah Lasan |
| Bag. (c) sampel 1 welded 500x | | |
|  |  | Crack Menjalar pada Batas Butir |
| Sample 1 | | |
| Bag. (a) sampel 1 HAZ 500x | | |
| |  | Pada <i>Base Metal</i> Terlihat Adanya Presipitasi Karbida Krom |
| Bag. (b) sampel 1 HAZ 500x | | |



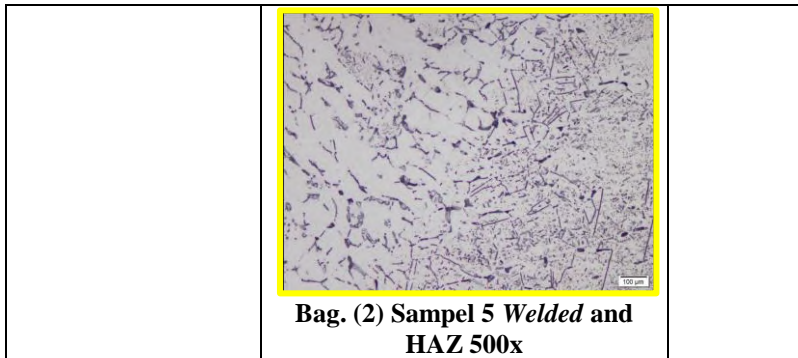
Hasil perbesaran pada sampel 1 terdapat adanya *crack* yang menjalar pada batas butir mulai dari HAZ melewati *fusion line* sampai berhenti di *fusion zone*. Perbesaran 500x pada *fusion zone* atau *welded* menunjukkan adanya delta ferrit, hal ini dikarenakan pada proses pengelasan terjadi panas lebih dari 1500°C. Pada temperaur lebih dari 1500°C austenit akan bertransformasi menjadi delta ferrit. Pada perbesaran 500x pada sampel 2 di daerah HAZ terlihat adanya presipitasi karbida krom pada batas butir. Perbesaran 500x presipitasi karbida krom terlihat sangat banyak. Hal tersebut yang menyebabkan daerah disekitar batas butir menjadi lemah dan terjadi retak pada daerah tersebut. Retak yang menjalar pada batas butir seperti pada sampel 1 disebut dengan IGSCC (*intergranular stress corrosion cracking*).

Tabel 4.8 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Material yang Mengalami Pecah pada Posisi 2

| TITIK PENGUJIAN | SRUKTUR MIKRO | KET. |
|---|---|--|
|  <p>Sample 3</p> |  <p>Bag. (a) Sampel 3 (HAZ) 50x</p>  <p>Bag. (a) Sampel 3 <i>Initial Crack</i> HAZ 500x</p>  <p>Bag. (b) Sampel 3 <i>Welded</i> 100x</p> | <p>Terlihat Adanya <i>Initial Crack</i> pada HAZ</p> <p>Fase Delta Ferit Terbentuk pada Lasan dan Terlihat Adanya <i>Crack</i></p> |


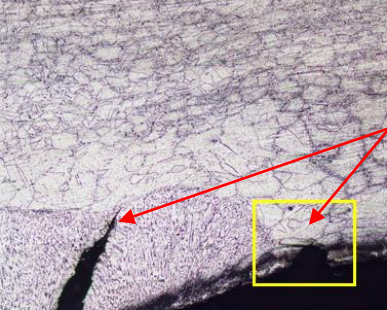
| | | |
|---|---|--|
| |  <p>Bag. (b) Sampel 3 Crack 100x</p> | |
|  |  <p>Sampel 4 Welded and HAZ 100x</p>  <p>Sampel 4 HAZ 500x</p> | <p>Butir HAZ Lebih Besar Dari pada <i>Base Metal</i></p> <p>Terlihat Adanya Presipitasi Karbida Krom</p> |

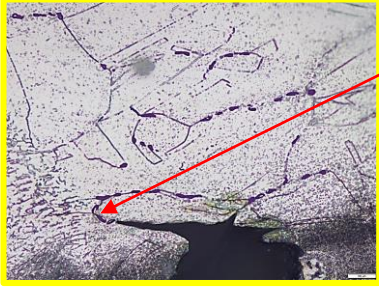


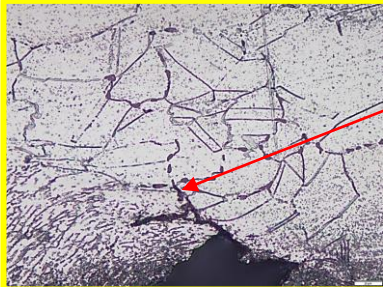
Sampel 3 dan 4 merupakan sampel yang diambil dari bagian las *longitudinal*, dari hasil pengamatan metalografi dengan perbesaran 100x pada sampel 3 terlihat adanya *initial crack* pada



Sampel 5 diambil dari sambungan *longitudinal* pipa yang masih utuh, pada pengamatan dengan perbesaran 100x tidak terlihat adanya cacat pada lasan maupun *base metal*, hanya saja butiran pada HAZ terlihat lebih besar dibandingkan dengan *base metal*. Perbesaran 500x menunjukkan pada daerah HAZ terjadi presipitasi karbida krom.

Tabel 4.10 Hasil Pengamatan Struktur Mikro pada *Base Metal* yang Mengalami *Toe Crack*

| TITIK PENGUJIAN | SRUKTUR MIKRO | KET. |
|---|--|---|
|  <p>Sampel 6</p> |  <p>Sampel 6 Crack 100x</p> | <p><i>Initial Crack</i> pada HAZ dan Lasan</p> <p>Batas Butir Terlihat Tebal indikasi adanya Presipitasi Karbida Krom</p> |

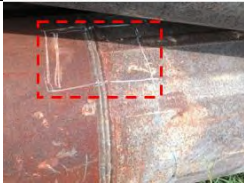
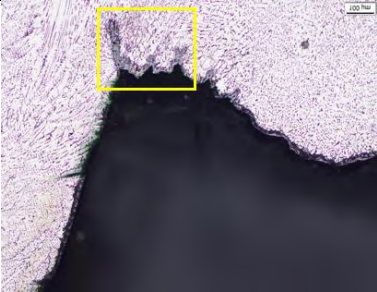
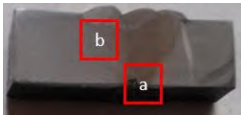
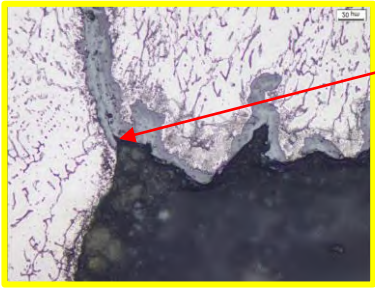
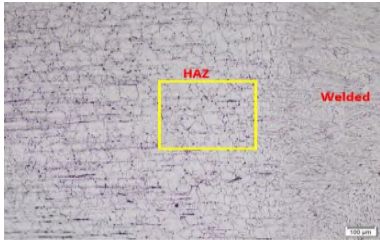
| | | |
|--|---|--|
| |  <p>Sampel 6 Crack 500x</p> | <p><i>Crack</i> Menjalar pada Batas Butir</p> |
|  <p>Sampel 7</p> |  <p>Sampel 7 Crack 100x</p>  <p>Sampel 7 Crack 500x</p> | <p>Batas Butir terlihat Tebal Indikasi adanya Presipitasi Karbida</p> <p><i>Initial</i> <i>Crack</i> pada HAZ menjalar pada Batas Butir</p> |

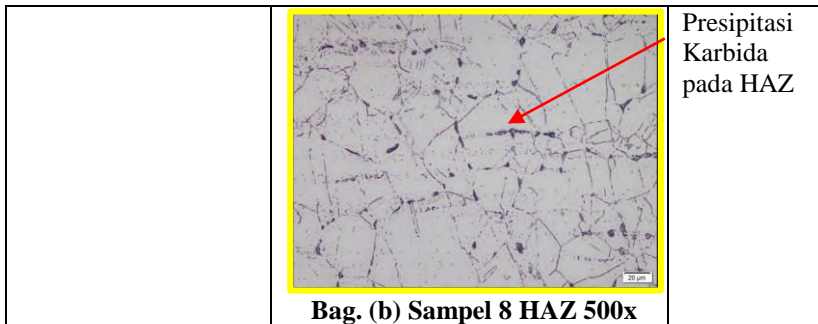
Sama halnya dengan sampel 3, pada sampel 6 dan 7 juga terdapat adanya *initial crack* yang menjalar pada batas butir daerah HAZ dan terdapat presipitasi karbida krom pada daerah tersebut.

Hasil pengamatan pada sampel 6 dan 7 juga terlihat adanya *undercut*. Adanya *undercut* pada lasan dapat mengurangi kekuatan sambungan las, dikarenakan tegangan akan terkonsentrasi pada daerah tersebut, sehingga berpotensi terjadinya retak. *Undercut* pada proses pengelasan disebabkan saat melakukan *capping* dengan kecepatan yang rendah, sehingga *base metal* akan ikut mencair. Adanya *initial crack* dan presipitasi karbida krom pada daerah HAZ retak akan menjalar melalui batas butir, sehingga hal tersebut merupakan penyebab terjadinya *toe crack* saat terjadi pecah pada pipa. Pada sampel 6 selain terdapat *initial crack* pada HAZ juga terdapat *crack* pada *fusion zone*. *Crack* pada *fusion zone* kemungkinan diakibatkan adanya retak dingin. Retak dingin merupakan retak yang terjadi pada saat proses pendinginan akibat kontraksi dari *fusion zone*. Proses pecahnya daerah *circumferential* diyakini selain akibat dari tegangan geser juga akibat adanya *initial crack* yang terjadi pada HAZ.

Dari hasil pengujian sampel satu sampai tujuh, ditemukan adanya presipitasi karbida krom pada batas butir baik di daerah HAZ maupun *base metal*. Adanya presipitasi karbida krom pada batas butir membuat daerah tersebut menjadi lemah dan timbul *intergranular cracking*. *Pre-existing crack* yang terjadi pada sambungan longitudinal disebabkan karena adanya IGSCC. Dari hasil analisa tersebut menyatakan bahwa kegagalan bukan hanya karena tegangan dan adanya *pre-existing crack*, akan tetapi kegagalan disebabkan karena *intergranular corrosion* yang menyebabkan kekuatan material menurun.

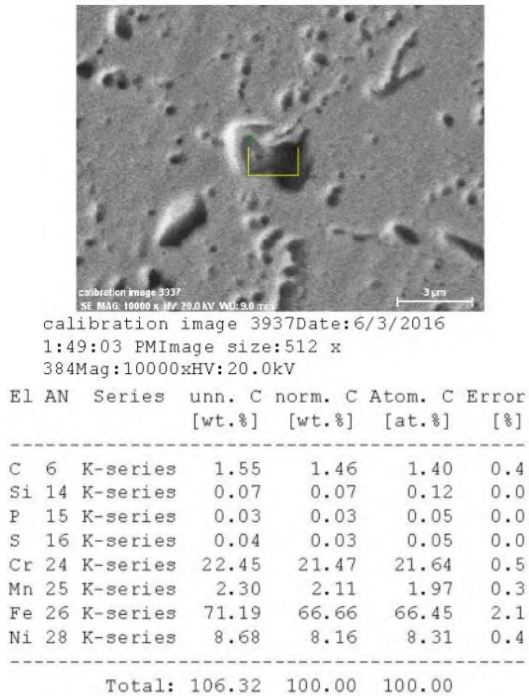
Tabel 4.11 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Bagian Las *Circumferential* yang Belum Mengalami Pecah

| TITIK PENGUJIAN | SRUKTUR MIKRO | KET. |
|---|---|--|
|  Las Circumferential |  Bag. (a) Sampel 8 <i>Incomplete Penetration</i> 100x | Terdapat <i>Incomplete Penetration</i> |
|  Sampel 8 |  Bag. (a) Sampel 8 <i>Incomplete Penetration</i> 500x | Ujung <i>Incomplete Penetration</i> Terlihat Tajam |
| |  Bag. (b) Sampel 6 HAZ and <i>Welded</i> 100x | |



Sampel 8 merupakan sampel yang diambil dari bagian *circumferential*, pengamatan dilakukan untuk menemukan penyebab terjadinya *crack* pada las *circumferential*. Hasil pengamatan fotografi setelah dilakukan pemotongan sampel menunjukkan adanya *incomplete penetration* pada *layer* pertama proses pengelasan. *Incomplete penetration* disebabkan karena prosedur pengelasan yang kurang baik, biasanya disebabkan karena saat pengelasan tidak melakukan *preheat*, sehingga dengan kecepatan pengelasan yang tinggi dan logam dalam keadaan dingin cairan *filler* akan cepat membeku dan tidak dapat berpenetrasi sampai ke dalam. Dengan adanya *incomplete penetration* pada daerah lasan, maka dilakukan pengamatan lebih lanjut pada daerah tersebut dengan pengamatan metalografi. Hasil dari pengamatan metalografi dengan perbesaran 100x menunjukkan ujung-ujung *incomplete penetration* terlihat tajam, setelah dilakukan perbesaran hingga 500x terlihat dari ujung-ujung tajam tersebut menjalar *crack* menuju dalam bagian *fusion zone*. Selain itu pada bagian HAZ dengan perbesaran 500x sangat jelas terdapat presipitasi karbida krom pada batas butir.

4.4.4. Pengamatan EDX (*Energy Dispersive X-Ray Analysis*)



Gambar 4.12 Hasil SEM-EDX Material Pipa A312 Tipe 304H

Tabel 4.12 Perbandingan Pengujian OES dan EDX

| Unsur | Pengujian OES (%) | Pengujian EDX (%) |
|-------|-------------------|-------------------|
| C | 0.049 | 1.40 |
| Cr | 18.16 | 21.64 |
| Mn | 1.608 | 1.97 |
| P | 0.01 | 0.05 |
| S | 0.025 | 0.05 |
| Si | 0.479 | 0.12 |
| Ni | 8.52 | 8.31 |
| Fe | 71.149 | 66.45 |

Pengujian EDX/EDS (*Energy Dispersive X-Ray Analysis*) dilakukan pada sample 1 yaitu pada bagian ujung pipa yang mengalami pecah, titik yang diambil gambar yaitu pada bagian *base metal*. Tujuan dilakukannya pengujian EDX yaitu untuk mengkonfirmasi bahwa pada sampel telah terjadi presipitasi, selain itu dengan pengujian tersebut bertujuan untuk mengetahui adanya unsur korosif. Pada hasil SEM terlihat adanya endapan berwarna hitam yang diduga endapan *chromium carbide*. Setelah dilakukan pengujian EDX pada bagian tersebut hasilnya adalah terdapat unsur C 1.4% dan unsur Cr 21.64%, apabila dibandingkan dengan hasil pengujian OES (*Optical Emission Spectrometry*) unsur C 0.049% dan Cr 18.16%. Hasil dari EDX menunjukkan adanya peningkatan persentase unsur karbon dan krom yang signifikan pada batas butir, hal ini menunjukkan pada daerah tersebut terdapat presipitasi karbida krom. Hasil pengujian EDX juga tidak menunjukkan adanya unsur korosif Cl (*chloride*), sehingga *pre-existing crack* bukan terjadi karena SCC (*Stress Corrosion Cracking*) melainkan karena IGSCC (*intergranular stress corrosion cracking*).

4.5. Solusi dan Rekomendasi

Temperatur operasi menjadi pertimbangan untuk menentukan rekomendasi apabila diganti dengan pipa dengan tipe lain. Temperatur operasi yaitu 610°C pada baja *stainless steel* austenitik tipe TP304H berada pada temperatur sensitasi, sehingga dengan tingginya kandungan karbon pada TP304H dapat terjadi presipitasi karbida. Untuk pencegahan terjadinya presipitasi ada tiga kategori: (a) *annealing* (b) memilih material dengan kandungan karbon rendah (c) mengganti tipe pipa dengan pipa yang mengandung unsur penyetabil.

- a. *Annealing* pada stainless steel dengan melakukan pemanasan pada baja tahan karat sampai temperatur 1100°C setelah itu dilakukan pendinginan cepat agar tidak melewati daerah sensitasi. Hal tersebut bertujuan untuk mengurangi pengendapan karbida krom pada batas butir, dimana pada

temperatur tersebut unsur karbon dan krom akan mempunyai energi untuk berdifusi ke butir. Solusi tersebut dirasa kurang cocok, karena temperatur operasi pipa udara adalah 610°C (temperatur sensitasi), dan telah terbukti bahwa pipa tetap mengalami kegagalan pada saat operasi.

- b. Memilih material dengan kandungan karbon rendah seperti 304L dan 316L akan mengurangi terbentuknya presipitasi karbida pada batas butir, akan tetapi dengan kadar karbon rendah dapat mengurangi kekuatan *stainless steel* pada temperatur tinggi, sehingga material akan mudah mengalami kegagalan pada temperatur operasi yang tinggi.
- c. Untuk mencegah terjadinya korosi intergranular dapat melibatkan gabungan pembentuk karbida kuat atau elemen penstabil seperti niobium atau titanium dalam baja tahan karat. Tipe TP347 dan TP321 dipilih karena mempunyai kekuatan yang sama dengan TP304H, akan tetapi pada temperatur 610°C TP347 dan TP321 tidak mengalami presipitasi karbida krom. Niobium dan titanium memiliki afinitas yang jauh lebih besar dibandingkan kromium. Pembentukan karbida dengan *element* titanium atau niobium dapat mengurangi ketersediaan karbon pada baja paduan dalam pembentukan karbida krom. Akan tetapi dengan penggantian tipe *stainless steel* menggunakan TP347 dan TP321 memerlukan biaya yang lebih banyak bila dibandingkan dengan menggunakan TP304H.
- d. Menggunakan unsur paduan penyetabil dengan persentase karbon tinggi seperti TP316H. TP316H memiliki unsur penyetabil Mo (*Molydenum*) dan mempunyai persentase karbon maksimal 0.1 % seperti pada TP304H dan krom 16-18%. Unsur Mo merupakan salah unsur pembentuk karbida pada batas butir seperti halnya krom. Dengan adanya Mo yang berikatan dengan karbon, maka unsur karbon pada material akan berkurang. Berkurangnya kadar karbon pada material akan mencegah terjadinya presipitasi karbida krom pada batas butir, sehingga unsur krom akan berikatan dengan oksigen

membentuk lapisan pasif. Penggantin tipe pipa menjadi TP316H dirasa kurang tepat karena akan membutuhkan biaya yang lebih mahal, dan masih terbentuk karida pada batas butir yang dimungkinkan bisa terjadi kegagalan yang sama. Penggantian TP316H akan meningkatkan resistensi pada unsur korosif bukan untuk mencegah korosi intergranular.

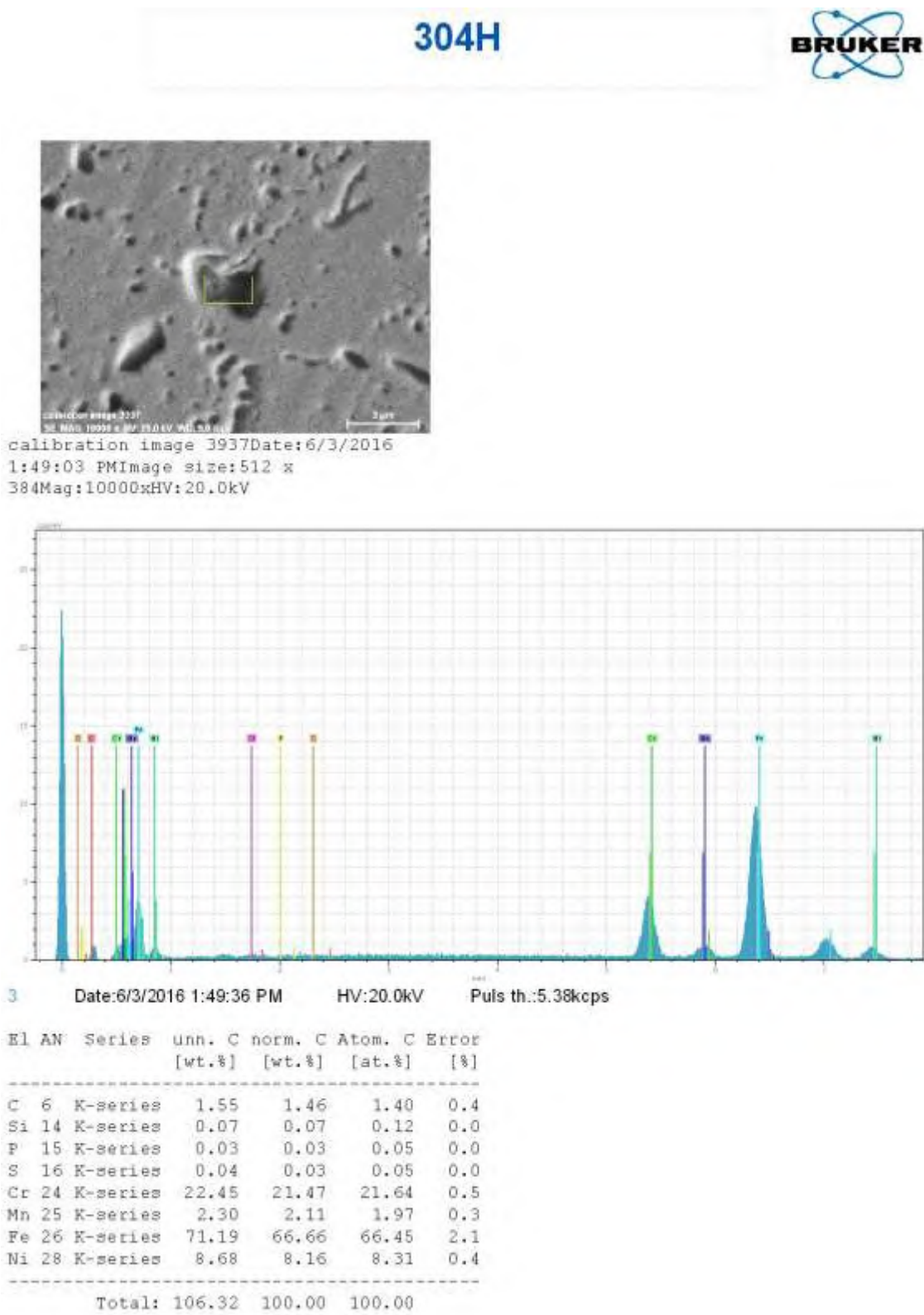
- e. Penggantian pipa TP304H *welded* menjadi TP304H *seamless* dapat meningkatkan kekuatan pipa. Hasil penelitian membuktikan kegagalan terjadi pada daerah HAZ sambungan *longitudinal* yang disebabkan *intergranular corrosion*, selain itu kegagalan pada pipa juga dipengaruhi dengan pipa yang sudah beroperasi lebih dari 15 tahun. Penggantian dengan TP304H *seamless* pipe dirasa lebih efektif karena dengan biaya yang minimal dapat menaikkan kekuatan pipa. Tidak adanya sambungan longitudinal pada pipa *seamless*, maka kegagalan serupa dapat dicegah dan akan menambah umur pakai pipa.

Untuk kegagalan pada sambungan *circumferential*, hal tersebut dapat dicegah dengan penggunaan prosedur yang sesuai pada proses *reweld* ataupun proses pengelasan pada *reinforce*.

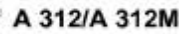
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Lampiran 1

Hasil Pengamatan SEM-EDX



Komposisi Kimia Material

[illegible]



A 312/A 312M

| Grade | UNS Designation ^A | Composition, % ^B | | | | | | | | | | | |
|---------|------------------------------|-----------------------------|-----------|------------|--------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|--------------------------|---------------|-----------------------|
| | | Carbon | Manganese | Phosphorus | Sulfur | Silicon | Chromium | Nickel | Molybdenum | Titanium | Columbium | Tantalum, max | Nitrogen ^C |
| TP347 | S32615 | 0.07 | 2.00 | 0.045 | 0.030 | 4.8-6.0 | 16.5-19.5 | 19.0-22.0 | 0.30-1.50 | ... | ... | ... | 1.50-2.50 |
| | S32654 | 0.020 | 2.0-4.0 | 0.030 | 0.005 | 0.50 | 24.0-25.0 | 21.0-23.0 | 7.0-8.0 | ... | ... | ... | 0.30-0.60 |
| | S33228 | 0.04-0.08 | 1.00 | 0.020 | 0.015 | 0.30 | 26.0-28.0 | 31.0-33.0 | ... | ... | 0.60-1.00 | ... | 0.05-0.10 |
| TP347H | S34565 | 0.03 | 5.0-7.0 | 0.030 | 0.010 | 1.00 | 23.0-25.0 | 16.0-18.0 | 4.0-5.0 | ... | 0.10 | ... | 0.40-0.60 |
| | S34700 | 0.08 | 2.00 | 0.045 | 0.030 | 1.00 | 17.0-19.0 | 9.0-13.0 | ... | ... | J | ... | ... |
| | S34709 | 0.04-0.10 | 2.00 | 0.045 | 0.030 | 1.00 | 17.0-19.0 | 9.0-13.0 | ... | ... | J | ... | ... |
| TP347LN | S34751 | 0.005-0.020 | 2.00 | 0.045 | 0.030 | 1.00 | 17.0-19.0 | 9.0-13.0 | ... | ... | 0.20-0.50 ^{F,K} | ... | 0.06-0.10 |
| | S34800 | 0.08 | 2.00 | 0.045 | 0.030 | 1.00 | 17.0-19.0 | 9.0-13.0 | ... | ... | J | 0.10 | ... |
| | S34809 | 0.04-0.10 | 2.00 | 0.045 | 0.030 | 1.00 | 17.0-19.0 | 9.0-13.0 | ... | ... | J | 0.10 | ... |
| TP348H | S35045 | 0.06-0.10 | 1.50 | ... | 0.015 | 1.00 | 25.0-29.0 | 32.0-37.0 | ... | 0.15-0.60 | ... | ... | 0.75 |
| | S35315 | 0.04-0.08 | 2.00 | 0.040 | 0.030 | 1.20-2.00 | 24.0-26.0 | 34.0-36.0 | ... | ... | ... | 0.12-0.18 | 0.03-0.08 |
| TPXM-15 | S38100 | 0.08 | 2.00 | 0.030 | 0.030 | 1.50-2.50 | 17.0-19.0 | 17.5-18.5 | ... | ... | ... | ... | ... |
| | N08367 | 0.030 | 2.00 | 0.040 | 0.030 | 1.00 | 20.0-22.0 | 23.5-25.5 | 6.0-7.0 | ... | ... | ... | 0.75 |
| | N08904 | 0.020 | 2.00 | 0.040 | 0.030 | 1.00 | 19.0-23.0 | 23.0-28.0 | 4.0-5.0 | ... | ... | ... | 1.00-2.00 |
| | N08926 | 0.020 | 2.00 | 0.030 | 0.010 | 0.50 | 24.0-26.0 | 19.0-21.0 | 6.0-7.0 | ... | ... | ... | 0.50-1.50 |

^A New designation established in accordance with Practice E 527 and SAE J1086.

^B Maximum, unless otherwise indicated.

^C The method of analysis for nitrogen shall be a matter of agreement between the purchaser and manufacturer.

^D For small diameter or thin walls or both, where many drawing passes are required, a carbon maximum of 0.040 % is necessary in grades TP304L and TP316L. Small outside diameter tubes are defined as those less than 0.500 in. [12.7 mm] in outside diameter and light wall tubes as those less than 0.049 in. [1.20 mm] in average wall thickness (0.044 in. [1.10 mm] in minimum wall thickness).

^E For welded TP316, TP316N, TP316LN, and TP316H pipe, the nickel range shall be 10.0-14.0 %.

^F For welded pipe, the phosphorus maximum shall be 0.045 %.

^G The titanium content shall be not less than five times the carbon content and not more than 0.70 %.

^H The titanium content shall be not less than four times the carbon content and not more than 0.60 %.

^I The columbium content shall be not less than ten times the carbon content and not more than 1.00 %.

^J The columbium content shall be not less than eight times the carbon content and not more than 1.0 %.

^K Grade S34751 shall have a columbium (niobium) plus tantalum content of not less than 15 times the carbon content.

Lampiran 3

Spesifikasi Material 304H



TYPE 304H S30409

| CHEMICAL COMPOSITION, (Maximum unless noted otherwise) | | | | | | | | | | | |
|---|------|-------|-------|------|-----------------|----------------|---|----|----|----|-------|
| C | Mn | P | S | Si | Cr | Ni | N | Mo | Ti | Al | Cb+Ta |
| 0.08 | 2.00 | 0.045 | 0.030 | 1.00 | 18.00/ 20.00 | 8.00/ 10.50 | | | | | |

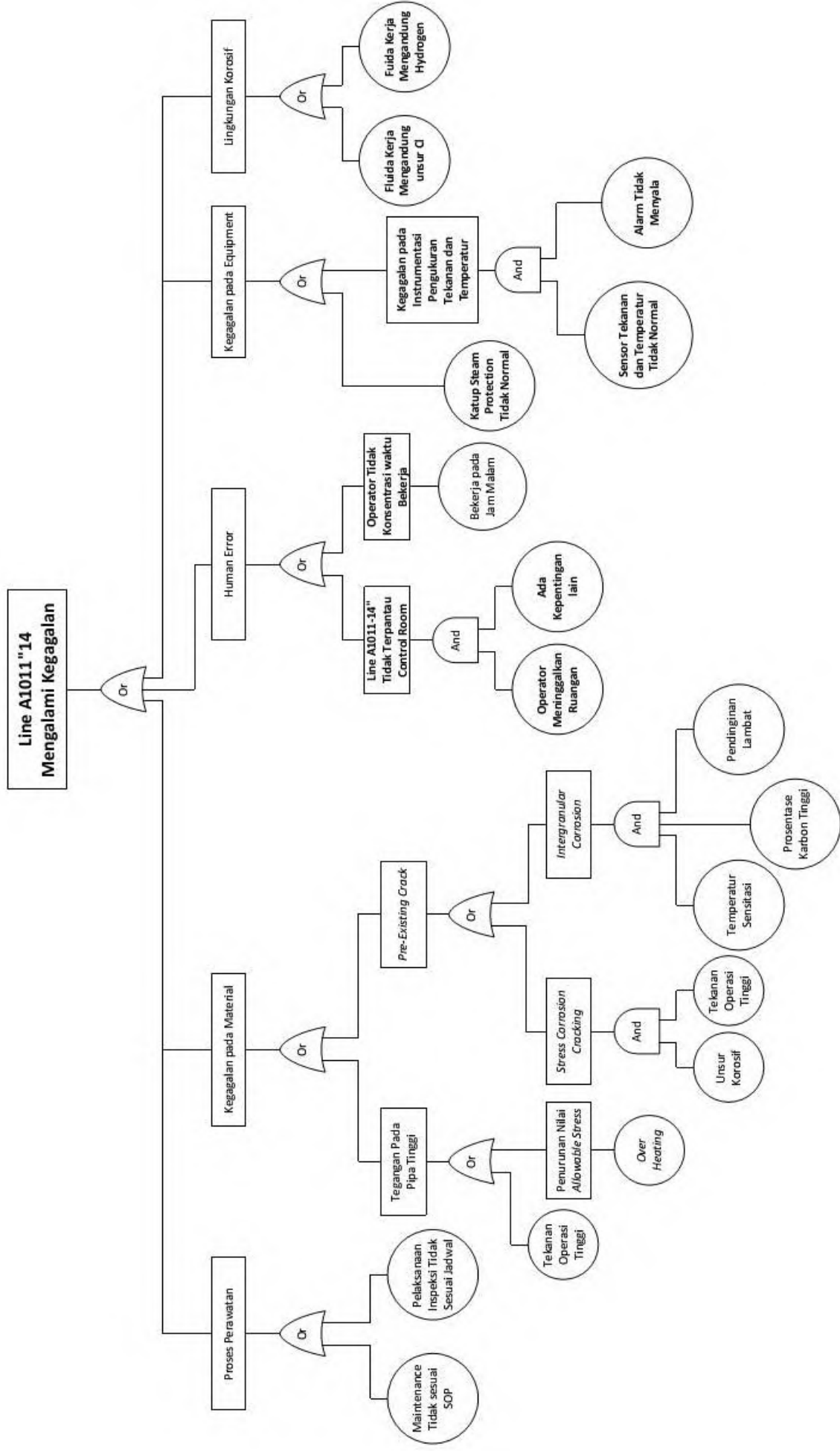
| REPRESENTATIVE MECHANICAL PROPERTIES (Annealed sheet unless noted otherwise) | | | | | | | | |
|---|------|-------------------------------|-----|------------------|-----|-------------------------------|----------------------|----------------------|
| Test Temperature | | Yield Strength 0.2% Offset | | Tensile Strength | | Elongation in 2" (50.80mm) | Reduction of Area | Hardness Rockwell |
| °F | °C | ksi | MPa | ksi | MPa | % | % | B |
| 80 | 27 | 42 | 290 | 84 | 579 | 55 | | 80 |
| 300 | 149 | 26.4 | 182 | 68.4 | 472 | 50 | 77 | |
| 500 | 260 | 21.8 | 150 | 64.1 | 442 | 42 | 75 | |
| 700 | 371 | 19.5 | 134 | 61.9 | 427 | 38 | 73 | |
| 900 | 482 | 18.1 | 125 | 60 | 414 | 36 | 69 | |
| 1100 | 593 | 16.4 | 113 | 53.2 | 367 | 35 | 65 | |
| 1300 | 704 | 13.8 | 95 | 35 | 241 | 35 | 51 | |
| 1500 | 816 | 9.9 | 68 | 18 | 124 | 38 | 42 | |
| 1700 | 927 | — | | 8.9 | 61 | 45 | 45 | |
| 1900 | 1038 | — | | 4.8 | 33 | 88 | 69 | |
| 2000 | 1093 | — | | 3.4 | 23 | 95 | 75 | |

| REPRESENTATIVE CREEP AND RUPTURE PROPERTIES | | | | | | | | | |
|---|-----|--|-----|--|-----|--------------------------|-----|--------------|-----|
| Test Temperature | | Stress for a Creep Rate of | | | | Stress for Rupture in | | | |
| | | 0.0001% per Hour (1% in 10,000 Hours) | | 0.00001% per Hour (1% in 100,000 Hours) | | 1,000 Hours | | 10,000 Hours | |
| °F | °C | ksi | MPa | ksi | MPa | ksi | MPa | ksi | MPa |
| 1000 | 538 | 25.5 | 176 | 17.9 | 123 | 49.8 | 343 | 36 | 248 |
| 1100 | 593 | 16.5 | 114 | 11.1 | 77 | 31 | 214 | 22.2 | 153 |
| 1200 | 649 | 10.8 | 74 | 7.2 | 50 | 19 | 131 | 13.8 | 95 |
| 1300 | 704 | 7 | 48 | 4.5 | 31 | 11.9 | 82 | 8.5 | 59 |
| 1400 | 760 | 4.6 | 32 | 2.9 | 20 | 7.7 | 53 | 5.3 | 37 |
| 1500 | 816 | 3 | 21 | 1.8 | 12 | 4.7 | 32 | 3.3 | 23 |

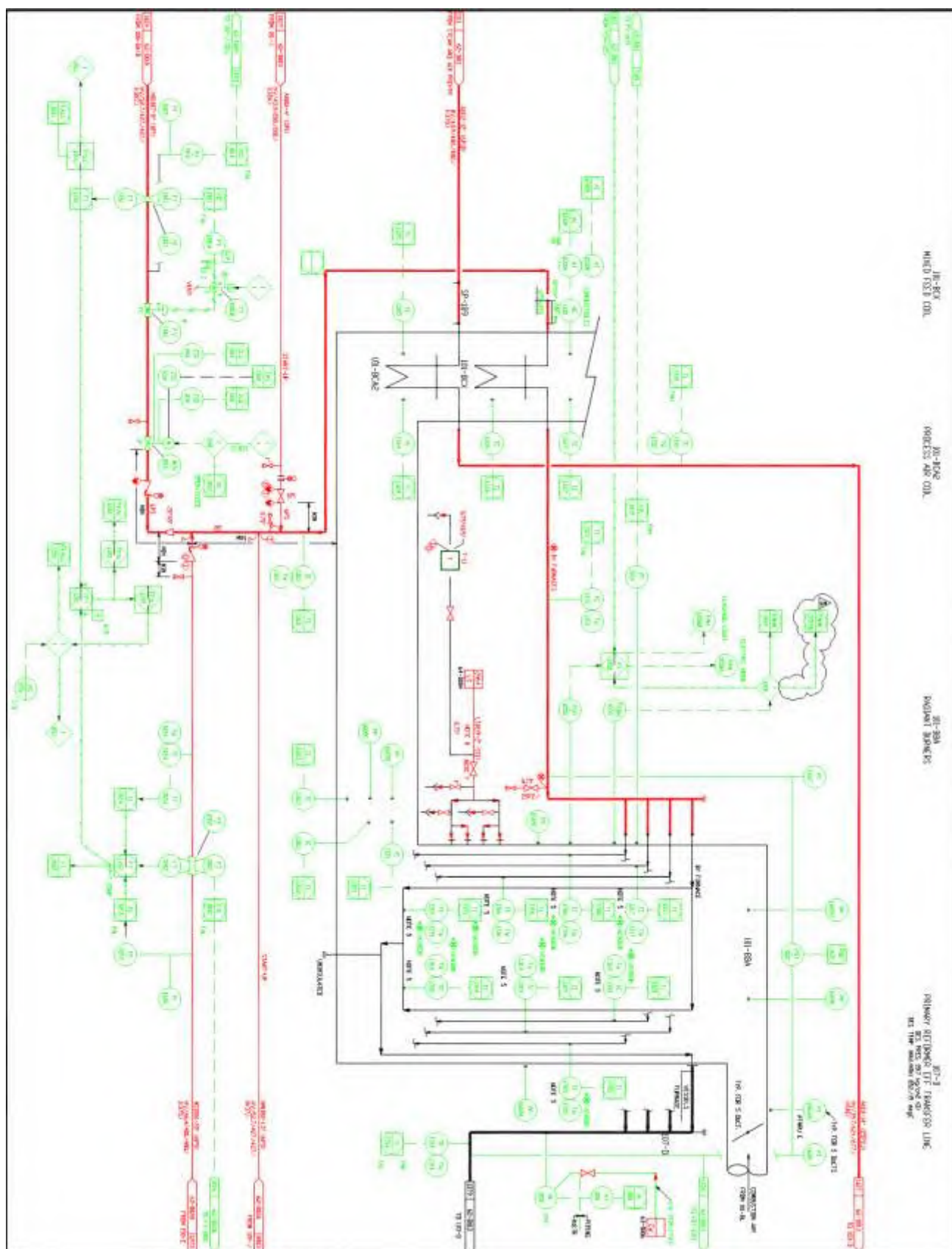
| EFFECT OF PROLONGED EXPOSURE AT ELEVATED TEMPERATURES | | | | | | | |
|--|-----|-------------------------------|-----|------------------|-----|-------------------------------|----------------------|
| Representative Mechanical Properties at Room Temperature | | | | | | | |
| 100,000 Hours (Without Stress) Exposure Temp. | | Yield Strength 0.2% Offset | | Tensile Strength | | Elongation in 2" (50.80mm) | Reduction of Area |
| °F | °C | ksi | MPa | ksi | MPa | | |
| 900 | 482 | 34 | 234 | 85.1 | 587 | 67 | 74 |
| 1050 | 566 | 31.4 | 216 | 85.9 | 592 | 63 | 75 |
| 1200 | 649 | 32.3 | 223 | 85.2 | 587 | 58 | 64 |

LAMPIRAN 4

FTA Kegagalan Pecahnya Pipa Udara



P&ID Line A 1011-14 (25P2J)

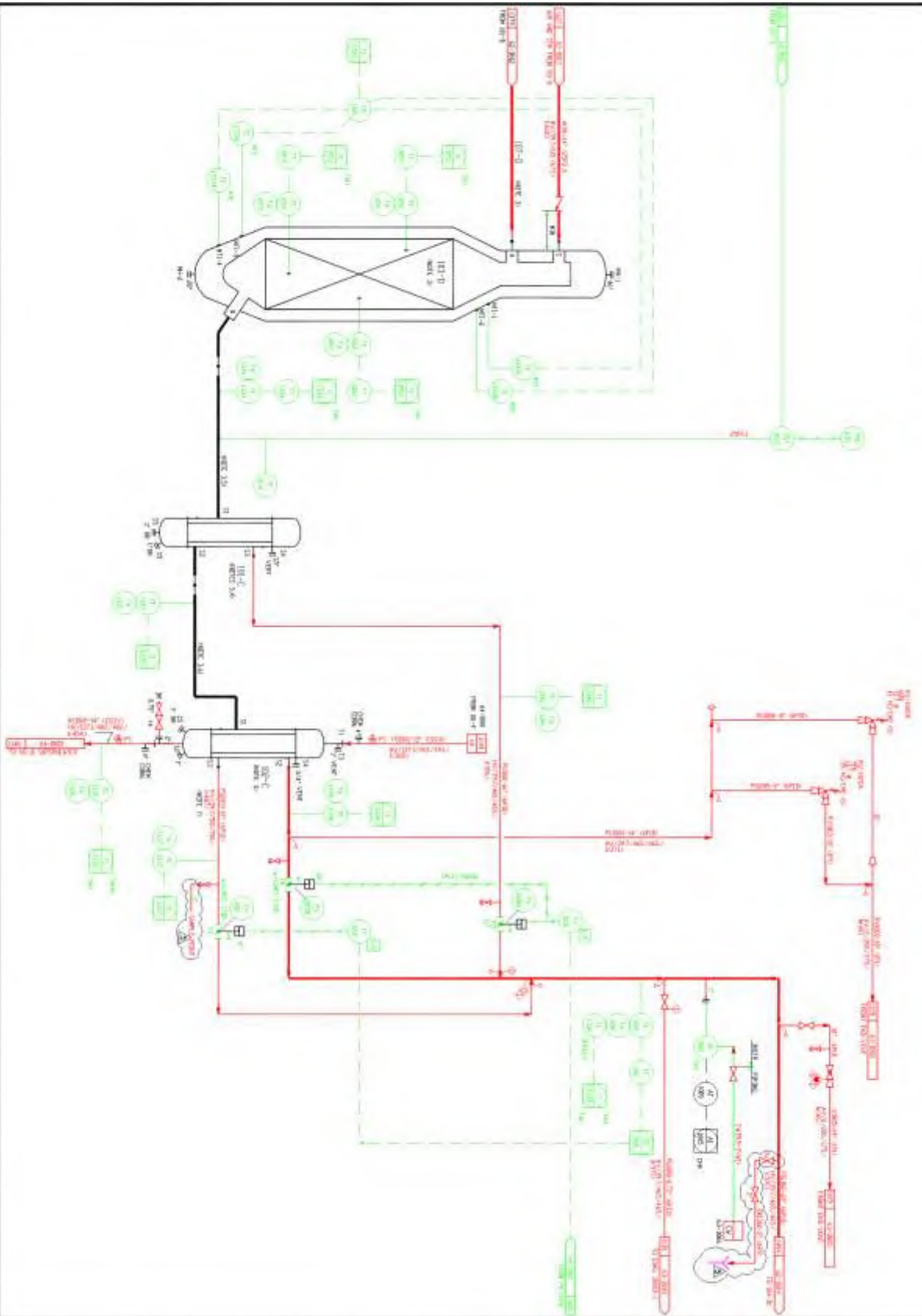


117-D
REPAIRS RETURNED OFF-THE-PIPE LINE

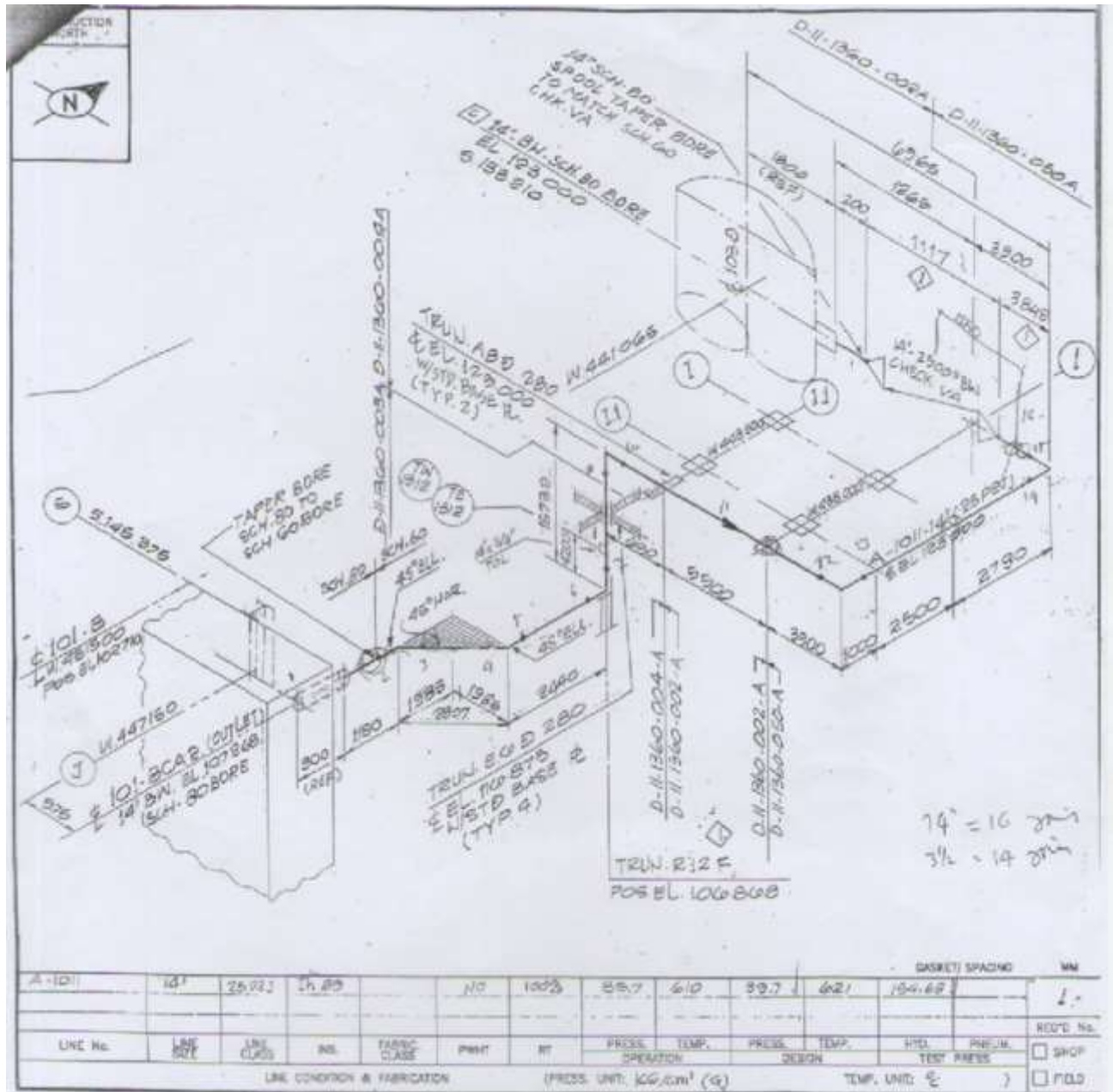
117-D
REPAIRS RETURNED OFF-THE-PIPE LINE

117-D
REPAIRS RETURNED OFF-THE-PIPE LINE

117-D
REPAIRS RETURNED OFF-THE-PIPE LINE




Isometri Line A 1011-14" (25P2J)




Lampiran 7


Bukti Pengambilan Sampel

| | | | |
|---|----------|---|--|
|  | | SURAT IJIN MEMBAWA BARANG (SIM B) | |
| PT PETROKIMIA GRESIK | | Nomor : <u>101/SIM.B/PMI/2016</u> , Tanggal : <u>15-02-2016</u> | |
| Dijinkan kepada : <u>Sopan Prayoga</u> Nama : NIK : Bag/Dep/Ro : <u>TEKNIK MESIN ITS</u> UNTUK MEMBAWA BARANG Dari : <u>Pabrik I</u> Ke/Tujuan : <u>ITS</u> No. MB/No.SPBK/ Ket/lain *) : Barang yang dibawa seperti termasuk di bawah ini | | | |
| No. | Jumlah : | Satuan : | Uraian barang / Jenis barang : |
| | | | <u>Seperti Data terlampir .</u> <u>NO: Penelitian Tugas Akhir</u> |
| Pembawa Barang : <u>Sopan Prayoga</u> | | Pemberi Ijin Kadep Karo atau Pejabat lain yang ditunjuk <u>Solikhah, ST MT</u> | |
| Catatan : *) Coret yang tidak perlu | | <u>T-3547615</u> | |

Gen 18/PG/85 Pembawa Barang

uari 2016


Mengetahui dan Menyetujui ,
 Dosen Pembimbing,

 (Ir. Wilitanto, M.Eng Sc)

Pemohon,

 (Sopan Prayoga)

Paksatno / Perusa
 ei 2: karm
 BAYA 15/2.16.
 Baby
 Pak kis / 60 kgs
 ei 2: karm
 Unit Amonia
 dengan
 jan ukuran

Lampiran 6

Bukti Peninjauan di PT.Petrokimia Gresik

**PETROKIMIA
GRESIK**

MEMO

Kepada : Manager Diklat
c.q. Kabag Penyelenggaraan & Evaluasi Diklat

Dari : Manager Pemeliharaan I/Candal

Hal : Konfirmasi Pembimbing Penelitian

Nomor : 773 /NK.02.02/43/MI/2015

Tanggal : 17 Nopember 2015

Menunjuk surat Saudara No.: 3743 /NK.02.02/03/MI/2015 tanggal 12 Nopember 2015 tentang Permohonan Bimbingan Penelitian bagi mahasiswa sebagai berikut :

| No | Nama (no induk) | Jurusan / Institusi | Periode Pelaksanaan | Judul penelitian |
|----|--------------------------------|----------------------------|----------------------------------|---|
| 1 | Sopan Prayoga. (2114105028) | T. Mesin / ITS Surabaya | 01/12/2015 s.d. 31/03/2016 | Analisa Kerusakan Pipa 304 H Pabrik I PT Petrokimia Gresik |

dengan ini kami konfirmasi bahwa bimbingan bagi mahasiswa tersebut diatas dapat dilaksanakan di unit kami, dan sebagai Pembimbing adalah :

► Nama : FX. Kishandono, S.T.

► NIK : T.484927

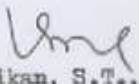
► Jabatan : Kasi

► Bagian : Mekanik Har I

Terlampir form Rencana Kegiatan mahasiswa yang bersangkutan.

Atas perhatiannya kami sampaikan terima kasih.

Manager Pemeliharaan I/Candal


(Solikan, S.T., M.T.)

Tembusan : 1. Kabag Mekanik Har I

2. Pembimbing ybs.

3. Arsip.

...../...../.....

BAB V

KEIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

- Berdasarkan hasil analisa dan pengujian yang dilakukan untuk menentukan akar permasalahan yang terjadi pada kasus pecahnya pipa, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:
 - a. Hasil perhitungan tegangan pipa setelah adanya *pre-existing crack* menunjukkan tegangan pada pipa 12978.55 psi masih di bawah *tensile strength* material pada temperatur 800°C, sehingga tegangan yang terjadi bukanlah akar masalah terjadinya pecah pada pipa.
 - b. Hasil pengamatan fraktografi dengan SEM (*scanning electron microscope*) menunjukkan bahwa pada sambungan longitudinal pipa terdapat *pre-existing crack* dengan bentuk patahan intergranular yang disebabkan oleh IGSCC (*intergranular stress corrosion cracking*). Hal tersebut dibuktikan dengan pengamatan mikro menggunakan metode metalografi.
 - c. Hasil pengujian EDX/EDS (*Energy Dispersive X-Ray Analysis*) membuktikan bahwa telah terjadi kenaikan unsur karbon dan krom pada batas butir. Unsur karbon naik dari 0.049% menjadi 1.4%, sedangkan unsur krom naik dari 18.16% menjadi 21.64%. Hasil pengujian EDX membuktikan bahwa *pre-existing crack* terjadi akibat adanya *intergranular corrosion*
 - d. Kegagalan pada *line A 1011-14"* bukan hanya disebabkan oleh adanya tegangan dan *pre-existing crack* tetapi juga dikarenakan *intergranular corrosion* dan umur pipa yang mencapai lebih dari 15 tahun menyebabkan kekuatan pipa turun.
 - e. Hasil pengamatan struktur mikro bagian las *circumferential* menunjukkan adanya *incomplete penetration* pada *fusion zone*, setelah dilakukan perbesaran 500x cacat las tersebut berujung runcing yang menyebabkan *crack* pada *fusion zone*.

Hal tersebut menjadi penyebab terjadinya *crack* pada las *circumferential* pipa.

- Solusi dan rekomendasi yang akan diajukan agar kegagalan yang serupa tidak terulang lagi adalah sebagai berikut:
 - a. Penggantian pipa TP304H *welded* menjadi TP304H *seamless* dapat meningkatkan kekuatan pipa. Hasil penelitian membuktikan kegagalan terjadi pada daerah HAZ sambungan *longitudinal* yang disebabkan *pre-existing crack* dan *intergranular corrosion* pada HAZ selain itu kegagalan pada pipa juga dipengaruhi dengan pipa yang sudah beroperasi lebih dari 15 tahun. Penggantian dengan TP304H *seamless* pipe dirasa lebih efektif karena dengan biaya yang minimal dapat menaikkan kekuatan pipa. Tidak adanya sambungan *longitudinal* pada pipa *seamless*, maka kegagalan serupa dapat dicegah dan akan menambah umur operasi pipa.
 - b. Untuk menaggulangi terjadinya *crack* di setiap *joint* maka proses pengelasan harus disesuaikan prosedur.

5.2. Saran

1. Pelaksanaan pengelasan *reinforce* dan *reweld* harus disesuaikan dengan prosedur.
2. Melakukan test setelah dilakukan pengelasan dengan *radiography* untuk mengetahui adanya IP (*incomplete penetration*).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mobley Keith. R., Lindley R. Higgins dan Darrin J. Wikoff. 2008. **Maintenance Engineering Handbook Seventh Edition**. New York: Mc Graw Hill.
- [2] Brook, R.C dan Choudhury, A. 2002. **Failur Analisys of Engineering Material**. New York : Mc Graw-Hill.
- [3] Ramachandran, V., Ragurham, A.C, Krisnan, R.V., Bhaumik, S.K. 2004. **Failur Analisys of Engineering Structures: Methodology and Case Histories**. Bangalore, India: ASM Internasional.
- [4] Charles B, Boss and Kenneth J.Fredeeen. 2004. **Concepts, Instrumentation and Tecniques in Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry**. USA: PerkinElmer Inc.
- [5] Denny A. Jones. **Principles and Prevention of Corrosion Second Edition**. University of Nevada : Prentice Hall, Upper Saddle River.
- [6] Anselmo, Clay. 2012. Failure Investigation and Root Cause Analysis. **Reglara Presentation**.
- [7] Fontana, Mars G. 1978. **Corrosion Engineering**. McGraw-Hill Inc.
- [8] Roberge, Pierre R. 2000. **Handbook of Corrosion Engineering**. McGraw-Hill Inc.
- [9] Hatta Ilham. Analisa Kerusakan Pipa Baja HP-Modified yang Digunakan pada Hydrogen Plant. **Jurnal sains dan Teknologi Indonesia**. Serpong Tangerang
- [10] Smith, William F.1993. **Material Science and Engineering: Structure and Poperties of Engineering Alloys**. McGraw-Hill Inc.
- [11] H.S.Khatak, B.Raj. 2002. **Corrosion of Stainless Steel**. England. Woodhead Publishing, Alpha Science.
- [12] Haris Efendi. 2008. Studi Kasus Kegagalan Material ASTM A335/P12 dalam Aplikasi Boiler Steam Pipe. **UI**. Depok.

- [13] H. Ahluwalia. **“Stress corrosion cracking”** Internet: [http://csidesigns .com/ flowgeeks/ stress-corrosion-cracking/2016](http://csidesigns.com/flowgeeks/stress-corrosion-cracking/2016).
- [14] Maysa Terada. 2006. **Microstructure and Intergranular Corrosion of the Austenitic Stainless Steel**. Elsevier.
- [15] S. Topolska, J. Labanowsky. 2012. Failur of Austenitic Stainless Steel Tube during Steam Generator Operation. **Institut of Engineering Material and Biomaterial**. AMME.
- [16] M.Gowshikan. 2014. Root Cause Identification and Elimination of Problems in Soot Blowers of Chemical Recovery Boilers. **SSRG-IJME**.
- [17] ASM. 1987. **Handbook Volume 12 Fractography**. ASM International The Materials Information Company. Amerika

BIODATA PENULIS



Sopan Prayoga, adalah anak pertama dari tiga bersaudara yang lahir di Tulungagung 5 Desember 1992. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu SDN Bulus 1 (1999-2005), SMPN 1 Bandung Tulungagung (2005-2008), SMAN 1 Durenan Trenggalek (2008-2011), D3 Teknik Mesin FTI-ITS (2011-2014) dan melanjutkan jenjang S1 Teknik Mesin FTI-ITS (2014-2016) terdaftar dengan NRP 2114105028 yang kemudian pada tahun 2016 mulai melakukan penelitian di Laboratorium Sistem Industri sampai dengan terselesaikannya buku ini. Penulis pernah melaksanakan kerja praktek di PT. Semen Indonesia (2013) dan PT Petrokimia Gresik (2015).

E-mail penulis : sopanprayoga@gmail.com
No. HP : +62 822 303 713 73